UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÂNICA
PROGRAMA DE MESTRADO

000413530

"Química das Sensações: Desenvolvimento de um Material Didático Interdisciplinar para o Ensino Superior"

Aluna: Carolina Godinho Retondo
Orientador: Pedro Faria dos Santos Filho

Campinas, 2004

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE IQ
Nº CHAMADA
4 / UNICAMP
R315q
V ____ EX ____
TOMBO BC/ 59506
PROC. 16.177-04
C ☐ D ☒
PREÇO R$ 11,00
DATA 13-9-04
Nº CPD ____

BIB TD 322466

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE QUÍMICA UNICAMP

R315q

Retondo, Carolina Godinho.
Química das sensações: desenvolvimento de um material didático interdisciplinar para o ensino superior / Carolina Godinho Retondo. -- Campinas, SP: [s.n], 2004.

Orientador: Pedro Faria dos Santos Filho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química.

1. Química das sensações.
2. Interdisciplinaridade. 3. Ensino de química.
I. Santos Filho, Pedro Faria dos. II. Universidade Estadual de Campinas. III. Título.

Sensações

As sensações são misteriosas!
Mas, todos nós as conhecemos muito bem!
Talvez seja, por isto, que é tão difícil de explicá-las!
Algumas pessoas privilegiadas, artistas, talvez, consigam se manifestar melhor.
Expressando com palavras, imagens, gestos ou sons as sensações que sentem.
Mas, quando admiramos uma obra temos nossas próprias sensações!
Que com certeza são diferentes da pessoa que a fez! Que contradição!
Muitos cientistas, filósofos e artistas passaram a vida tentando desvendá-las. Outros ainda passarão.
Talvez, o homem consiga algum dia entendê-las ou explicá-las. Talvez este mistério continue.
O que será melhor para a humanidade?
Solucionar este problema ou deixá-lo em aberto?
Será que conseguiremos entendê-las realmente e explicá-las de forma que todos as conheçam?
Se isto acontecer, talvez, possa ser criado um tipo de manual, com instruções de como a mente humana funciona.
Contando, em detalhes, o que provoca ou não uma determinada sensação.
Então, nós não teríamos mais dúvidas.
Não erraríamos mais!
Saberíamos amar, sem ter medo de sofrer ou de sentir dor.
Saberíamos controlar nossos sentimentos.
Saberíamos esquecer! Saberíamos perdoar!
Não precisaríamos mais nos preocupar com nossos gestos, por que saberíamos exatamente suas conseqüências.
Mas, isto seria impossível?
Não! Pois, as sensações são individuais!
Desta forma, estes mistérios jamais serão inteiramente revelados.
Nunca saberemos o que uma pessoa realmente sente.
Nunca saberemos se algo que fizemos realmente agradou ou desagradou o outro.
Nunca conseguiremos saber o que se passa na mente de outra pessoa.
Para que a vida nunca perca sua beleza, é melhor não resolvermos este mistério!
Mas, é bom pensar sobre ele. Numa tentativa ininterrupta de tentarmos nos entender e entender os outros!

Carolina Godinho Retondo

Agradecimentos e dedicatórias

Esta dissertação representa para mim, muito mais que a finalização de um trabalho, mas a realização de um sonho. Tive um enorme prazer em escrevê-la, mas nem todos os momentos foram assim, confesso que alguns foram difíceis, mas consegui superá-los, isto porque nunca estive sozinha. Graças a Deus, sempre estive rodeada de pessoas maravilhosas, que me ajudaram indireta ou diretamente em sua realização. Dentre elas estão minha família, meus amigos e professores que nunca me deixaram desanimar. Por isto, não posso dizer que este trabalho é meu e de meu orientador, mas tem um pouquinho de cada pessoa, que de alguma forma, contribuiu e me ajudou a realizá-lo, a todas elas dedico este trabalho e agradeço pela contribuição.

À meus pais, ***Julio Cesar Retondo*** e ***Maria Florentina Nogueira Godinho Retondo***, por me dar vida, amar, educar, apoiar, por sempre me mostrar o melhor caminho, por fazerem de tudo para que eu sempre me sentisse feliz, por me corrigirem quando precisei, por imporem limites, por incentivar em todos os momentos, mesmo naqueles em que não acreditavam que eu estava fazendo o certo e por sempre depositar uma enorme confiança em mim. À minha avó, ***Maria Lydia Nogueira Godinho Retondo***, por tudo o que ela me faz, por estar sempre presente, por acreditar em mim por me dar todas as ferramentas para que eu me desenvolvesse, por ser uma segunda mãe, por sempre realizar meus sonhos e desejos. Ao meu avô, ***José Ferraz Godinho***, um grande pesquisador que não está mais aqui, mas que me ensinou e transmitiu a certeza de que todos meus sonhos podem ser realizados e, que, mesmo ausente, contribui financeiramente para que eu pudesse ter ferramentas para realizar este trabalho. Aos meus irmãos, ***Lucas*** e ***Julia Godinho Retondo***, que são muito importantes para mim, pessoas de quem me orgulho muito e de quem sou muito amiga, além disso, sei que sempre vou poder contar com eles, assim como eles sabem que podem contar comigo, em qualquer situação.

À minha tia ***Maria Cristina Nogueira Godinho dos Santos***, por sempre mostrar interesse pelas minhas idéias, por me motivar e torcer por mim. Aos meus primos: ***Thiago***, ***Rodrigo***, ***Alexandra*** e ***Leonardo Godinho dos Santos***. À minha outra tia ***Maria Cristina Retondo Galiás*** por todas as divertidas férias que passei com ela. Às minhas primas

Débora e ***Ana Luiza Galiás***, que apesar da distância, sempre serão pessoas muito queridas, por todos os bons momentos que passamos juntas.

Aos meus professores, pois todos eles contribuíram, de alguma forma, para minha formação. Tive muitos professores, mas desde grande grupo, alguns me deram a oportunidade de estar mais perto e me ensinaram não só conceitos específicos, mas lições de vida. São estes os professores que eu admiro e até mesmo tento "imitar"!

Ao ***Pedro Faria dos Santos Filho***, uma pessoa muito importante que apareceu em meu caminho. Ele, nestes últimos anos, não só me orientou e me ensinou, mas foi meu amigo e acreditou em mim e nas minhas idéias. Foi por isto que consegui realizar este trabalho, do qual tanto eu, quanto ele, nos orgulhamos muito. Tivemos muito prazer em escrever esta dissertação, pois constantemente estávamos aprendendo coisas novas, além de sempre estarmos conversando e discutindo. Muitas vezes, demoramos a chegar a uma determinada conclusão e foi exatamente isto que nos instigava e nos movia a continuar pesquisando.

Ao ***Ronaldo Aloise Pilli***, que sempre será um dos meus professores preferidos, pois me deu a oportunidade de trabalhar com ele durante a graduação. Ele ama o que faz e transmite isto aos seus alunos, está sempre preocupado em dar o melhor de si no seu trabalho e em contribuir para o crescimento das outras pessoas. Eu sempre admirei muito seu modo de trabalhar e, principalmente, de ensinar. A maior e a melhor lição que ele me transmitiu foi aprender a gostar e admirar a química!

Ao ***Pedro Luiz Onófrio Volpe***, um professor que também gosto muito. Com ele tive a primeira oportunidade de estar numa sala de aula e observando a forma como ele conduzia suas aulas é que resolvi seguir está área. Nunca me esquecerei de sua filosofia: "o importante é ser e não ter", o que demonstra seu caráter e personalidade.

Aos professores ***Maria Inês F. P. dos Santos Rosa*** e ***Pedro da Cunha Pinto Neto*** que são extraordinários, e que me deram a oportunidade de adaptar e aplicar uma parte do material desenvolvido nesta dissertação no ensino médio. Além disso, foi com eles que tive consciência do que estava realizando, através de diversas conversas extra classe e de suas contribuições em meu exame de qualificação.

Aos professores ***José Alencar Simoni*** e ***Mathieu Tubino*** por todos os ensinamentos e pelas conversas informais onde eu muito aprendia. Aos professores do Instituto de

Biologia ***Francesco Langone*** e ***Elenice Ferrari*** pela grande contribuição que me deram transmitindo conceitos desta área.

Agradeço aos meus amigos do Instituto de Química:

Á ***Carolina Vertu Marinho da Cruz***, que sempre foi minha companheira desde o primeiro dia da graduação em química. Por sempre estar ao meu lado, como uma segunda irmã, me apoiar de todas as formas, inclusive discutindo muito os temas deste trabalho. Pela amizade que sempre tivemos e por tudo o que realizamos juntas.

À ***Alexandra Linder***, mais conhecida como Pipoca. Sem ela eu jamais teria desenvolvido este trabalho, pois foi ela que me apresentou ao Pedro. Ela também sempre foi uma super amiga, de todos os momentos e, principalmente, nestes últimos tempos, muito contribui: lendo, opinando e me ajudando neste trabalho!

À ***Tatiana Akiko de Souza*** uma amiga, que, apesar de pequena, tem muita força e muito o quê ensinar. Ao ***José Ari Milton Cavancanti*** e ao ***Rogério Chiacchio***, amigos com quem "troco um dedinho de prosa", pessoas maravilhosas, que sempre estiveram prontos para me ajudar. À ***Carolina Sanches***, ***Ricardo Costa da Silva***, ***Emerson Lourenço***, ***Carlos Kataguiri***, ***Viviane Pascoal*** e ***Ernesto Ferreira*** amigos queridos com quem passei grande parte da graduação. À ***Maria Auxiliadora***, ao ***José Carlos Bianchi*** e a ***Josivânia Marisa Dantas***, amigos que fiz durante o mestrado, meus colegas de trabalho, com quem sempre "troco figurinhas" não só sobre ensino de química, mas sobre a vida também. Aos funcionários do Instituto ***Denise***, ***Rose*** e ***André*** por sempre "quebrar uns galhos", com muito carinho.

Aos meus amigos com os quais passei os melhores e os mais engraçados momentos da minha vida:

Às minhas amigas das repúblicas: ***Marcela Jussara Miwa***, uma cientista social que entende muito de química, principalmente, sobre a química das sensações. Durante grande parte do mestrado, enquanto tentava assimilar alguns conceitos, discutia e explicava a ela, que com muito carinho, e, mesmo sem entender muita coisa, me ajudava a compreender o que estava aprendendo. Sua ajuda e sua amizade foram fundamentais! À ***Aline Aparecida Veltrone***, uma amiga que a cada dia que passa se torna mais especial, leal e sincera, com ela estou sempre discutindo sobre a educação e sobre a vida também. À ***Grazielle Suellen Gattis***, uma amiga, que tem muita força e que ensina a todos que pode enfrentar qualquer

problema, sem perder a "pose". À ***Ana Marta Zahra***, que admiro pela sua inteligência, honestidade, sinceridade e perseverança. À ***Karina Silveira*** e a ***Juliana*** com quem sempre me diverti muito. À ***Marcela Virgínia Baccic***, que apesar de não ser da república, sempre foi "de casa", uma parceira de grandes momentos, que eu admiro muito pela sua força de vontade, inteligência e realizações e, principalmente, pelo seu jeito "engraçado de ser".

Ao ***José Domingos*** e ao ***Afonso Avancini***, amigos que me acompanharam em uma grande parte da minha graduação, que sempre estarão comigo, onde quer que eu esteja. A ***Luciane Yumi*** que sempre está pronta para qualquer "balada". Ao ***Dionysio Dias Moriconi***, que sempre encontra uma piada para contar, mesmos nos momentos tristes e que, por isto, consegue animar todo mundo. Ao ***Igor Gouveia***, meu amigo que sempre ficava bravo quando eu não podia sair, por causa das coisas do mestrado... Com ele, a diversão é garantida... Ao ***Leandro Horie***, pela amizade e por toda a ajuda que tem me dado. Ao ***Rômulo de Azevedo Gomes***, ao ***Alceu Justus Filho***, ao ***Alberto Fatuchi Lahan*** e a ***Fabiana Lyderis***, pela melhor viagem da minha vida, pelos momentos divertidos e animados que passamos juntos. A ***Cristiane de Cássia Panelli***, uma amiga que me apoiou e me incentivou muito, principalmente, neste último ano.

Ao pessoal de Sorocaba: ***Flávia Barbosa***, ***Renata Seixas***, ***Gisele Ribeiro***, ***Giuliana*** e ***Vinícius de Morais***, amigos de infância e adolescência, que me conhecem bem, antes mesmo de sequer imaginar fazer um mestrado, e que, mesmo de longe, sempre me acompanham. A ***Carol Kleinhappel*** pelas caronas, conversas e companhia, pelo incentivo e amizade, uma pessoa que nem imagina o tanto que é maravilhosa. Ao ***Luiz Gustavo Dias*** por sempre me incentivar a acreditar que todos os meus sonhos podem se realizar. Ao ***Giacomo Zanotto Neto*** que muito me incentivou e por estar comigo no momento em que entrei e que conclui o mestrado.

Ao pessoal do Imapes que me deram a oportunidade de trabalhar com eles e que me proporcionaram momentos de grande aprendizagem. Ao ***Ricardo Braga*** que está me proporcionando uma oportunidade de aplicar diversos textos deste material em sua escola, pela amizade, carinho, trocas de figurinhas e pelo "casamento de idéias". Ao pessoal da *All Química* por me convidarem a ministrar o mini-curso *"Química das Sensações"* e por todo o carinho. Ao pessoal do *Click Idéia*, que apesar de pouco convívio, estão me oferecendo muitas oportunidades e perspectivas para o futuro.

Ao pessoal da Pedagogia que apesar do pouco tempo de contato, me ajudaram muito e sinto que ainda serão grandes amigos.

Meus sinceros agradecimentos a todos! Sem vocês nada disso seria possível! São vocês que me fazem feliz e me ajudam a realizar todos os meus sonhos!

Carolina Godinho Retondo

Curriculum Vitae

Escolaridade

- *UNICAMP*. **Mestrado**: *Departamento de Química Orgânica*, linha de pesquisa: *"Ensino de Química"* (agosto de 2001 – abril de 2004). Projeto: *"Química das Sensações: Desenvolvimento de um Material Didático Interdisciplinar para o Ensino Superior"*. Orientador: Prof. Dr. Pedro Faria dos Santos Filho. Apoio CNPq.
- *UNICAMP*. **Graduação**: "*Bacharelado em Química*" (março de 1997 – agosto de 2001).
- *UNICAMP*. **Graduação**: "*Licenciatura em Química*" (reingresso em agosto de 2001 – dezembro de 2002).
- *UNICAMP*. **Graduação**: "*Pedagogia*" (março de 2003 - em andamento).

Participação em Eventos

- *"3ª Semana de Química"*, outubro de 2003, Instituto de Química, UNICAMP.
- *"XLIII Congresso Brasileiro de Química"*, setembro de 2003, Ouro Preto. Trabalhos apresentados: Retondo, C. G.; Santos Filho, P. F.; *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"* e *"Neuroquímica, Emoções e Drogas"*; ambos na forma de painel.
- "*26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*", maio de 2003, Poços de Caldas. Trabalhos apresentados: Retondo, C. G.; Santos Filho, P. F.; *"Visão, Luz e Cores"* e *"Química da Sensação de Sabor Doce"*; ambos na forma de painel.
- "*XI ENEQ - Encontro Nacional de Ensino de Química*", outubro de 2002, UFRPe. Trabalho apresentado: Retondo, C. G.; Santos Filho, P. F.; *"Desenvolvimento de um Material Didático sobre Química das Sensações"*; na forma de painel e oral.
- "*25ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*", maio de 2002, Poços de Caldas. Trabalho apresentado: Retondo, C. G.; Santos Filho, P. F.; *"Deslocalização Eletrônica e suas Implicações no Ensino de Química"*; na forma de painel.Mini-curso: *"Química na Cabeça: Demostrando a Química na Sala de Aula"*. Ministrado pelo Prof. Alfredo Luis M. L. Mateus.
- "*I Simpósio de Profissionais do Ensino de Química*", novembro de 2001, Instituto de Química da UNICAMP.

- *"XX Escola de Verão em Química Orgânica e V Escola de Verão em Química Inorgânica"*, fevereiro de 2000, UFSCar.
- *"XVII ENEQUI – Encontro Nacional de Estudantes de Química"*, janeiro de 1999, UFSC.
- *"Ciclo de Palestras da III Semana All Química"*, outubro de 1998, Instituto de Química da UNICAMP.
- *"8th Brazilian Meeting on Organic Synthesis"*, setembro de 1998, Hotel Fazenda Colina Verde, São Pedro.

Palestras e mini-cursos

- *"Química das Sensações"*, mini-curso ministrado durante a *3ª Semana de Química*, outubro de 2003, UNICAMP. Mini-curso ministrado durante a *III Semana Profissional*, outubro de 2003, IMAPES.
- Retondo, C. G.; *"Visão, Luz e Cores"*, palestra ministrada no IMAPES, em 23/08/2003.

Estágios, Iniciações Científicas e Atividades Profissionais

- *Iniciação Científica*, projeto: *"Ensino da Construção e Interpretação de Diagramas de Fases"*. Orientador: Prof. Dr. Pedro L. O. Volpe, janeiro a julho de 2001, UNICAMP.
- *Iniciação Científica*, projeto: *"Síntese do Rincoforol Racêmico e sua Resolução via Catálise Enzimática"*. Orientador: Prof. Dr. Ronaldo A. Pilli, janeiro de 2000 a julho 2001, UNICAMP.
- *Iniciação Científica*, projeto: *"Estudo Fitoquímico da Hymenaea courbaril var. altissima. Preparação de Complexos de Diterpenos-Dienos Conjugados com Ferro-Pentacarbonila e sua Descomplexação com Ozônio"*. Orientador: Prof. Dr. Paulo M. Imamura, janeiro a julho de 1999, UNICAMP.
- *Responsável pela Área de Química do Site Educacional:* www.clickideia.com.br. Coordenadora: Prof. Dr. Vera Solferine. Início em outubro de 2003.
- *Programa de Formação Continuada "Teia do Saber" Ações Descentralizadas*. Aulas na área de química para turmas de São Roque, Votorantim, Itu e Sorocaba. *IMAPES* e *Secretária de Estado da Educação*, outubro a dezembro de 2003.
- *Auxiliar Didático*, disciplina *"Química Geral Experimental"*. Coordenadora: Prof. Dr. Adriana V. Rossi, março a julho de 2002. Coordenador: Prof. Dr. Pedro Luiz Onofrio Volpe, março a julho de 2001, UNICAMP.

Resumo

QUÍMICA DAS SENSAÇÕES: DESENVOLVIMENTO DE UM MATERIAL DIDÁTICO INTERDISCIPLINAR PARA O ENSINO SUPERIOR. As "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química" enfatizam que o modelo atual para o ensino de química é inviável e ineficaz e que para melhorá-lo deve-se torná-lo interdisciplinar. Atualmente, espera-se que os professores, de todas as áreas, tenham uma atitude interdisciplinar frente ao conhecimento, apesar de existir uma grande carência de materiais didáticos com estas características, dificultando o desenvolvimento de tal atitude. Neste trabalho elaboramos um material didático interdisciplinar que pode ser utilizado tanto no ensino de química, quanto no de áreas afins, utilizando o tema "Química das Sensações" e interligando conceitos de diversas áreas do conhecimento tais como: química, física, biologia, farmacologia, geografia, alimentos, neurologia. Assim, conceitos como deslocalização e transição eletrônica são interligados aos de outras áreas como física e biologia, em "Visão, Luz e Cores" e "Moléculas e Sensações de Cor". Da mesma forma, conceitos como vibração e rotação molecular, absorção de energia do infravermelho, reações radicalares, dentre outros, são interligados a conceitos da geografia e a fisiologia, no texto "Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura". Por outro lado, os conceitos de ligação de hidrogênio e geometria molecular, bem como os de solubilidade e volatilidade são norteadores para os textos "Sensações de Sabor" e "Sensações de Odor e Aroma", respectivamente. Nos textos "Neuroquímica e Sensações", "Dor: Sensação Boa ou Ruim?" e "Sensações Emocionais e Drogas" conteúdos de química orgânica são interligados aos de eletroquímica e bioquímica. O material é, principalmente, voltado para o ensino superior, mas se for feita uma transposição didática adequada, poderá também ser utilizado no ensino médio. Nele não serão apresentados conceitos novos, mas sim uma nova forma de abordar os conceitos discutidos no ensino superior de química. Concluímos que é possível elaborar um material didático interdisciplinar onde os conceitos fundamentais de química são utilizados para explicar as sensações, que estão presentes na vida de qualquer indivíduo. Desta forma, os assuntos debatidos neste material estão presentes no cotidiano de qualquer aluno e são apresentados de forma contextualizada, tal como é requerido nas Diretrizes Curriculares.

Abstract

CHEMISTRY OF THE SENSATIONS: DEVELOPMENT OF An INTERDISCIPLINARY DIDACTIC MATERIAL FOR THE HIGHER EDUCATION. As "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química" enfatize that the actual model for chemistry teacher it's unviable and ineffective and for make it better, should transformed it interdisciplinary. Actualy holp that the professors, of all areas, have on interdisciplinary actitude front of the knowledge, besides existes a huge carenci of didatic material with these characteristic, doing hard the development of these. In this paper, we elaborated a interdisciplinary didatic material, which can be used even for "Chemistry of Sensations", and putting together several areas of the knowledge, such as chemistry, physics, biology, pharmacology, geography, neurology. This way conceptions as deslocalization and electronics transitions are interlinked to other areas as physics, biology, inside "Vision, ligth and colors" and "Molecules and colors sensations". In the same way conceptions as vibrations and molecular rotation, absortion of energy of the IV, reactions radicals, among others, are interlinked to concepts of geography and physiology, resulting in "Atmosphere, life and sensations of temperature". On the other side, the concept of connection of hidrogen and space location of the groups in a molecule, as well as the one of solubility and volatility are essential for the texts: "Sensations of flavour" and "Sensations of scent and aroma", respectively. On the texts "Neurochemistry and sensation", "Pain: good or bad sensation?" and "emotion sensations and drugs", organic chemistry issues are interligated to electrochemistry and biochemistry. The material is mainly, made to be used in the higther education, but if be done an appropriate didatic conversion, could also be used on high school. Inside it won't be presented news conceptions, but a new way to treat the conceptions used in high chemistry teacher. We finished that is possible elaborate didatic material where the fundantal conceptions of chemistry are utilized to explain the sensations, which are presented in life of any person. This way, the ideas that are going be showing in thes material are presents on the real life of any student and are showed in a contextualized way, as the way the "Diretrizes Curriculares" asks.

Índice

Introdução Pág.1

Objetivo Pág.18

Desenvolvimento do Trabalho Pág.19

Capítulo 1 – Sensações: Porta de Entrada das Informações do Mundo para a Mente Pág.21

Química das sensações Pág.24
Sensações visuais Pág.25
Sensações de temperatura Pág.26
Sensações de sabor, odor e aroma Pág.27
Sensações de dor Pág.27
Sensações de tato Pág.28
Sensações de som Pág.28
Sensações emocionais Pág.30
Considerações Finais Pág.30

Capítulo 2 – Visão, Luz e Cores Pág.31

Estímulos e formação de sensações visuais Pág.38
Fotorreceptores e sensações visuais Pág.52
Funcionamento dos fotorreceptores Pág.58
Interação entre o olho e o cérebro Pág.61
Considerações finais Pág.67

Capítulo 3 – Moléculas e Sensações de Cor Pág.69

Melanina Pág.72

Algumas moléculas que causam sensações de cor presentes nos vegetais Pág.74

Moléculas que causam sensações de cor desenvolvidas pelo homem Pág.84

Considerações finais Pág.95

Capitulo 4 – Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura Pág.96

O que isto tudo tem a ver com sensações? Pág.99

Química da atmosfera – protegendo e mantendo a vida Pág.104

Efeito estufa – natural e benéfico! Pág.112

Como a temperatura do ambiente influencia na temperatura corporal Pág.122

Modo como o cérebro regula a temperatura corporal Pág.125

Considerações finais Pág.130

Capítulo 5 – Sensações de Sabor Pág.131

Diferenças de sensação de sabor Pág.133

Açúcares e adoçantes Pág.142

Sabor salgado e azedo Pág.146

Considerações finais Pág.148

Capítulo 6 – Sensações de Odor e Aroma Pág.149

O que uma molécula precisa ter para causar as sensações de odor e aroma? Pág.151

Moléculas, odores e aromas Pág.154

Considerações finais Pág.164

Capítulo 7 – Neuroquímica e Sensações Pág.165

O neurônio e a transmissão de informação Pág.174
O potencial de ação Pág.177
Neurotransmissores Pág.191
Interação dos neurotransmissores em receptores – excitação e inibição Pág.197
Considerações finais Pág.200

Capítulo 8 – Dor: Sensação Boa ou Ruim? Pág.202

Sensação de dor Pág.207
Dor e sistema nervoso central Pág.211
Analgésicos e anestésicos Pág.214
Analgésicos de ação geral Pág.215
Analgésico de ação local Pág.222
Anestésicos Pág.225
Considerações finais Pág.230

Capítulo 9 – Sensações Emocionais e Drogas Pág.232

Sensações emocionais e o encéfalo Pág.234
Alterações das sensações emocionais com drogas de abuso Pág.236
Ansiedade, medo, pânico e ansiolíticos Pág.238
Álcool Pág.244
Depressão e antidepressivos Pág.247
Alucinógenos: substâncias perturbadoras Pág.252
Anfetamina e outras substâncias estimulantes Pág.254
Nicotina Pág.257
Dependência química Pág.261
Considerações finais Pág.263

Conclusão Pág.264

Bibliografia Pág.269

Índice de Tabelas

Capítulo 3 – Moléculas e Sensações de Cor

Tabela 1 - Exemplos de carotenóides, suas fontes, comprimentos de onda absorvidos e energia para necessária para realizar a transição entre os orbitais HOMO e LUMO e a sensação de cor que causam. Pág.77

Tabela 2 - Exemplos de antocianinas, suas fontes, substituintes e comprimentos de onda máximos de absorção. Pág.81

Tabela 3 - Valores dos comprimentos de onde máximo de absorção das antraquinonas em função dos substituintes e de sua posição. Pág.87

Tabela 4 - Dados dos substituintes, maior comprimento de onda absorvido para os compostos azo. Pág.90

Capítulo 4 – Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura

Tabela 1 - Dados sobre o comprimento de onda, em nanômetros, que é absorvido para intensificar o estiramento simétrico, assimétrico e a deformação em diversas ligações, das moléculas que induzem e/ou intensificam o efeito estufa. Pág.117

Capítulo 5 – Sensações de Sabor

Tabela 1- Relação entre o adoçante e seu poder de adoçar em relação à sacarose. Pág.144

Capítulo 6 – Sensações de Odor e Aroma

Tabela 1 - Dados sobre alguns compostos encontrados em óleos essenciais e suas fontes. Pág.157

Capítulo 7 – Neuroquímica e Sensações

Tabela 1- Dados sobre as concentrações dos íons Na^+, K^+, Ca^{2+} e Cl^- no meio intracelular ($[íon]_{interna}$) e no meio extracelular dos neurônios ($[íon]_{externa}$). Pág.177

Tabela 2 - Determinação do potencial de equilíbrio para os íons Na^+, K^+, Ca^{2+} e Cl^- através da equação de Nernst. Pág.185

Capítulo 9 – Sensações Emocionais e Drogas

Tabela 1 - Nomes e substituintes dos barbituratos mais importantes utilizados como sedativos, hipnóticos e ansiolíticos. Pág.241

Tabela 2 - Nomes dos benzodiazepínicos mais importantes utilizados como sedativos e ansiolíticos. Pág.242

Índice de Figuras

Capítulo 2 – Visão, Luz e Cores

Figura 1 - Algumas ilusões de óptica. Pág.36

Figura 2 - Representação do espectro eletromagnético da região do visível. Pág.40

Figura 3 - Decomposição da luz da região do visível em seus comprimentos de onda. Pág.43

Figura 4 - Representação do arco-íris e de um esquema que ilustra a refração e a reflexão da luz emitida pelo sol, separando-a em diferentes comprimentos de onda. Pág.44

Figura 5 - Exemplo de um diagrama que representa, de uma forma generalizada, os níveis de energia dos orbitais moleculares. Pág.47

Figura 6 - Comparação entre as diferenças de energia dos orbitais HOMO e LUMO para o benzeno, naftaleno, antraceno, naftaceno e pentaceno. Pág.50

Figura 7 - Estrutura da grafite. Pág.52

Figura 8 - Representação dos bastonetes e cones. Pág.53

Figura 9 - Representação da seletividade dos cones em função dos comprimentos de onda do espectro eletromagnético da região visível. Pág.54

Figura 10 - Ilustração das combinações de cores captadas pelos três tipos de cones. Pág.55

Figura 11 - Isomerização do 11-cis-retinal à trans retinal. Pág.59

Figura 12- Ilustração da conversão do retinol à 11-cis-retinal. Pág.60

Figura 13 – Ilustração das principais partes do olho. Pág.62

Figura 14 - Estrutura da melanina. Pág.63

Figura 15 – Ilustração das principais partes do cérebro envolvidas com as sensações visuais. Pág.65

Capítulo 3 – Moléculas e Sensações de Cor

Figura 1 - Ilustração do processo de formação de sensações de cores. Pág.71

Figura 2 - A concentração de melanina na pele varia de pessoa para pessoa e quanto maior for esta concentração, mais escura ela será percebida. Pág.72

Figura 3 - Estrutura da melanina. Pág.73

Figura 4 - Estruturas de compostos que agem como protetores solares. Pág.74

Figura 5 - Fotos de algumas paisagens enfatizando a clorofila dos vegetais. Pág.75

Figura 6 - Estrutura da clorofila. Pág.75

Figura 7 - Degradação dos carotenóides, ilustrando que a cor das flores vai ficando menos alaranjada. Pág.76

Figura 8 – Ilustração de frutas que contêm carotenóides. Pág.77

Figura 9 - Estruturas dos carotenóides. Pág.78

Figura 10 - Representação da reação de conversão do β-caroteno à vitamina A. Pág.79

Figura 11- Fotos de algumas flores ricas em flavonóides. Pág.80

Figura 12 - Estruturas das antocianinas. Pág.81

Figura 13 - Possíveis equilíbrios de antocianina em função da acidez ou basicidade do meio. Pág.83

Figura 14 - Estrutura da Alizarina. Pág.84

Figura 15 - Estruturas da p-benzoquinona e de seus derivados. Pág.85

Figura 16 - Estrutura de uma antraquinona substituída nas posições 1 e 2. Pág.87

Figura 17- Estruturas dos derivados da antraquinona. Pág.89

Figura 18 - Estrutura básica de um composto azo. Pág.90

Figura 19 - Estruturas de outros compostos azo. Pág.91

Figura 20- Equilíbrios do alaranjado de metila de acordo com as variações de pH do meio. Pág.92

Figura 21 – Representações dos equilíbrios da fenolftaleína de acordo com a variação do pH do meio. Pág.92

Figura 22 - Estrutura de um composto utilizado como branqueador óptico. Pág.93

Figura 23 - Estruturas do índigo e do púrpuro. Pág.94

Capítulo 4 – Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura

Figura 1 - Representação do balanço de energia da terra. Pág.105

Figura 2 - Variação da concentração do ozônio com a altura (em regiões de latitude intermediária) e com a temperatura para diferentes regiões da atmosfera. Pág.108

Figura 3 - Ilustração das camadas da atmosfera. Pág.110

Figura 4 - Representação do efeito estufa. Pág.114

Figura 5 - Tipos de vibrações moleculares. Pág.115

Figura 6 - Representação da divisão do sistema nervoso em central e periférico. Pág.126

Figura 7 - Estrutura da tiroxina. Pág.127

Figura 8 - Estruturas da adrenalina, noradrenalina e acetilcolina. Pág.128

Figura 9 - Estrutura da prostaglandina E_1 e da aspirina. Pág.129

Figura 10 - Estrutura da vasopressina. Pág.130

Capítulo 5 – Sensações de Sabor

Figura 1 – Ilustração das regiões da língua mais sensíveis ao sabor doce, amargo, azedo e salgado. Pág.133

Figura 2 - Estruturas de algumas moléculas que evocam o sabor doce. Pág.133

Figura 3 - Ilustração das ligações de hidrogênio da água. Pág.135

Figura 4 - Estrutura da glicose. Pág.137

Figura 5 - Representação das ligações de hidrogênio entre o receptor e as moléculas com sabores amargo e doce. Pág.138

Figura 6 - Estruturas da feniltiouréia e da dulcina. Pág.138

Figura 7- Indicação do sabor, em função da localização dos grupos AH, B e X. Pág.139

Figura 8 – Exemplos de variação de sabor da sacarina, conforme a posição do substituinte. Pág.140

Figura 9 – Estruturas dos compostos com sabor amargo. Pág.141

Figura 10 – Estruturas da glicose, da galactose e da frutose. Pág.142

Figura 11 – Estrutura de alguns dissacarídeos. Pág.143

Figura 12- Estruturas da sacarina, do ácido ciclâmico, do acessulfame, de um peptídeo doce e do aspartame. Pág.144

Figura 13 – Estruturas dos ácidos orgânicos responsáveis pelo sabor azedo. Pág.146

Figura 14- Esquema que ilustra a interação dos grupos AH e B dos receptores com os grupos O—H e O de um ácido orgânico. Pág.147

Figura 15- Ilustração da lingua e dos botões gustativos. Pág.147

Capítulo 6 – Sensações de Odor e Aroma

Figura 1 – Diferentes classes de terpenos. Pág.155

Figura 2 – Principais monoterpenos e sesquiterpenos. Pág.156

Figura 3 – Estruturas de alguns compostos que causam sensações de odor e aroma. Pág.158

Figura 4 – Ilustração da conversão enzimática de um fragmento de proteína rica em cisteína e metionina em compostos voláteis responsáveis pelos odores e aromas de alho e cebola. Pág.159

Figura 5 – Ilustração da conversão do ATP em IMP. Pág.160

Figura 6 – Estrutura do glutamato monosódio. Pág.160

Figura 7 – Estruturas da metilmercaptana e da 3-metilbutano-1-tiol. Pág.162

Figura 8 – Estruturas da uréia, da putrescina, da cadaverina e da trietilamina. Pág.162

Figura 9- Estruturas da piperina, da capsaicina e da gingerona. Pág.163

Figura 10 – Estruturas do mentol e da cânfora. Pág.163

Capítulo 7 – Neuroquímica e Sensações

Figura 1- Ilustração das partes do encéfalo. Pág.166

Figura 2- Ilustração das partes do neurônio. Pág.175

Figura 3 – Ilustração da sinapse. Pág.176

Figura 4- Esquemas das estruturas dos fosfolipídios. Pág.178

Figura 5- Ilustração de uma bicamada da membrana fosfolipídica. Pág.179

Figura 6- Estrutura do colesterol. Pág.179

Figura 7- Representação de um canal iônico. Pág.181

Figura 8- Esquema dos canais presentes na célula: iônicos e de água. Pág.182

Figura 9- Ilustração da distribuição desigual dos íons através da membrana neuronal. Pág.187

Figura 10- Ilustração da bomba sódio e potássio. Pág.188

Figura 11– Reação de hidrólise do ATP, formando ADP e PO_3^{2-}. Pág.189

Figura 12 – Estrutura dos neurotransmissores dopamina, noradrenalina, adrenalina, acetilcolina, serotonina, histamina, gaba, glutamato, glicina e anandamida. Pág.192

Figura 13 – Estruturas de neurotransmissores de peptídeos. Pág.195

Capítulo 8 – Dor: Sensação Boa ou Ruim?

Figura 1 - Estrutura da capsaicina. Pág.208

Figura 2 - Ilustração da reação de síntese das prostaglandinas. Pág.209

Figura 3 - Ilustração das prostaglandinas. Pág.210

Figura 4 - Esquema que ilustra as vias da condução de informação da dor. Pág.212

Figura 5 - Estrutura do naloxone. Pág.213

Figura 6 - Papoula do ópio de onde são obtidos os alcalóides morfina e codeína. Pág.215

Figura 7 - Pó de heroína. Pág.217

Figura 8 - Estruturas dos alcalóides derivados da morfina. Pág.217

Figura 9 - Ilustração da conversão da heroína e da codeína à morfina. Pág.218

Figura 10 - Ilustração da sinapse dos neurônios que liberam analgésicos endógenos quando a pessoa está sentindo dor, quanto está a controlando ou quando está ingerindo uma droga como morfina. Pág.219

Figura 11 - Ilustração das sinapses dos neurônios que liberam endorfina, encefalina e dinorfina na presença de naloxone. Pág.220

Figura 12 - Comparação entre as estruturas do naloxone, da morfina e da met-encefalina. Pág.221

Figura 13 - Folhas de Cannabis Sativa, maconha na forma de pedra e de cigarros. Pág.222

Figura 14 - Estrutura do THC, componente ativo da Cannabis sativa. Pág.222
Figura 15 - Ilustração de dois esquemas das sínteses da aspirina. Pág.223
Figura 16 - Estrutura dos compostos que agem como analgésicos periféricos. Pág.224
Figura 17 - Reação de inativação da enzima ciclooxigenase pela aspirina. Pág.225
Figura 18 - Erythroxylon coca, cocaína em pó e pedras de crack. Pág.226
Figura 19 - Estruturas da cocaína, na forma iônica e como uma molécula sem carga. Pág.227
Figura 20 - Estruturas de analgésicos locais derivados da cocaína. Pág.229

Capítulo 9 – Sensações Emocionais e Drogas

Figura 1 - Diferença, nas sinapses dos neurônios que liberam GABA, entre uma pessoa com e sem ansiedade. Pág.240
Figura 2 - Reação de formação de um ácido barbitúrico. Pág.241
Figura 3 - Estruturas dos benzodiazepínicos mais importantes comercialmente. Pág.242
Figura 4 - Esquema que ilustra o modo de ação dos benzodiazepínicos e dos barbituratos no receptor de GABA. Pág.244
Figura 5 - Representação da reação de conversão do açúcar em etanol. Pág.245
Figura 6 - Representação da reação de conversão do piruvato em etanol. Pág.245
Figura 7 - Reação do metabolismo do álcool. Pág.246
Figura 8 - Esquema que compara o que ocorre nas sinapses dos neurônios que liberam serotonina para uma pessoa sem e com depressão. Pág.248
Figura 9 - Esquema que compara o que ocorre nas sinapses dos neurônios que liberam dopamina para uma pessoa sem distúrbios, para uma pessoa na fase depressiva e na fase maníaca. Pág.249
Figura 10 - Síntese da serotonina. Pág.250
Figura 11 - Estruturas das substâncias tricíclicas utilizadas como antidepressivos. Pág.250
Figura 12 - Esquema que ilustra ação dos antidepressivos nos neurônios que liberam serotonina. Pág.251
Figura 13 - Estrutura da fluoxetina. Pág.251

Figura 14 - Ilustração do LSD na forma de pequenas pastilhas e na forma líquida. Pág.252

Figura 15 - Estrutura dos alcalóides alucinógenos e da serotonina. Pág.253

Figura 16 - Esquema que ilustra o modo de ação do LSD nas sinapses dos neurônios que liberam serotonina. Pág.253

Figura 17 - Ilustração da conversão da função amida do LSD em função ácido carboxílico. Pág.254

Figura 18 - Estrutura da mescalina. Pág.256

Figura 19 - Síntese da dopamina, noradrenalina e adrenalina. Pág.256

Figura 20 - Estruturas da anfetamina, da efedrina e do ecstasy. Pág.257

Figura 21 - Estrutura da nicotina. Pág.258

Figura 22 - Síntese da acetilcolina. Pág.258

Figura 23 - Estrutura da tubucurarina. Pág.259

Figura 24 - Conformações da acetilcolina: antiperiplanar e sinclinal. Pág.260

INTRODUÇÃO

O nascimento do pensamento é igual ao nascimento de uma criança:
tudo começa com um ato de amor.
Uma semente há de ser depositada no ventre vazio.
E a semente do pensamento é o sonho.
Por isso os educadores, antes de serem especialistas em ferramentas do saber,
deveriam ser especialistas em amor: intérpretes de sonhos.
Rubens Alves[1]

As investigações sobre a natureza, provavelmente, nasceram junto com a humanidade, sendo que os gregos (século VI a.C.) foram, talvez, os primeiros a deixar contribuições significativas. Eles propuseram a filosofia, uma corrente de pensamento que influenciou a humanidade durante muitos séculos.[2-5]

A palavra filosofia significa "*amor à sabedoria*" e os primeiros filósofos se preocupavam com questões cosmológicas, especulavam a respeito da origem da natureza, do mundo físico e procuravam a racionalidade do universo. Durante grande parte da Idade Média ela permaneceu "escondida", pois, neste período, houve o predomínio do sentido sobre a razão, por isto a imaginação e a subjetividade eram muito valorizadas. A ciência, então, encontrou pouco espaço para se desenvolver, pois não havia muitos questionamentos sobre o universo e a natureza, mas acreditava-se que tudo era uma criação de Deus.[3-5]

No final desta época, com o início do Renascimento, surgiu uma nova maneira de pensar, que enfatizava uma cultura racional, científica, com entrelaçamentos de novos e antigos valores, buscando, assim, subsídios na filosofia grega. O elemento central do pensamento foi o antropocentrismo, onde o homem se via como o centro do universo, valorizando a vida na Terra e a natureza.[3,6-9]

No século XVII houve a chamada Revolução Científica, que se iniciou com as descobertas astronômicas de Nicolau Copérnico (1473-1543) e Galileu Galilei (1564-1642), sobre o heliocêntrismo e a via-láctea. Galileu também usou o método científico, baseado em observação, hipótese, experimentação e generalização.[3,4,8]

Este método fez com que o homem aumentasse a confiança na possibilidade da ciência explicar os segredos da natureza. Além disso, seu aperfeiçoamento, o confronto dos resultados e a verificabilidade permitiram a uniformidade de conclusões e, portanto, a objetividade.[2,3]

Na Idade Moderna, com a Revolução Industrial, a ciência e a tecnologia tornam-se aliadas, provocando, assim, modificações, que levaram à concepção do cientificismo. Segundo este a ciência é considerada o único conhecimento possível e o método científico era o único considerado válido, devendo, portanto, ser estendido a todos os campos da investigação e da atividade humana. Essa forma de pensar acabou contribuindo para a configuração, no século XIX, do pensamento positivista, idealizado principalmente por Comte.[2,3]

O positivismo levou às últimas conseqüências o papel reservado à razão para descobrir as relações constantes e necessárias entre os fenômenos, ou seja, as leis invariáveis que os regem. Houve uma intenção de imobilizar as idéias em classificações, o que levaria à concepção de um saber acabado. Comte também fez uma classificação das ciências, dividindo-as em matemática, astronomia, física, química, biologia e sociologia (chamada na época de física-social). A filosofia, desde então, foi concebida como a sistematização das ciências, como a generalização dos mais importantes resultados da física, da química, etc...[2,3,5]

Porém, no início do século passado, devido às descobertas como a relatividade e a mecânica quântica, os cientistas começaram a perceber que a ciência não era um saber pronto e acabado, como acreditavam no século XIX. Os pesquisadores foram então, obrigados a se questionarem sobre os seus fundamentos e os limites.[2-9]

Vem crescendo, a partir do século passado, a idéia de que a ciência é algo que tem limites, que é produtora de modelos que tentam explicar a realidade, que possui um caráter mutante e que está sendo constantemente construída. A ciência está sendo interpretada com um caráter subjetivo, de que é feita por homens e que, portanto, é passível a incertezas.[2,7]

No entanto, mesmo com toda esta crise, vale lembrar que os conhecimentos científicos são fundamentais para humanidade, inclusive não há dúvidas quanto aos seus poderes transformadores. Há uma consciência de que a ciência é uma prática social relevante, necessária e importante para resolver ou encaminhar muitos problemas humanos. Além disso, nas sociedades atuais, a ciência é a forma mais eficiente de gerar conhecimento significativo.[10]

Mas, não podemos aceitar todo o conhecimento científico como relevante, pois ele sempre há de ser questionado, conforme afirma Bachelard:

> *"O saber científico adquirido deve ser sempre testado, sempre controlado, sempre criticado. Um pouco de dúvida potencial fica sempre em reserva nas noções científicas que os filósofos consideram muito simplesmente como dogmáticas. Essa dúvida potencial é bem diferente da dúvida prévia cartesiana, que é uma dúvida em si, uma dúvida geral, sem aplicação nem objeto e não antes dele, como a dúvida potencial."*[11]

Esta crise de identidade das ciências é diretamente refletida no seu ensino, tanto que muitos autores consideram importante mostrar ao aluno que ela é provisória e se modifica ao longo dos séculos. Segundo Castilho, Silveira e Machado:

> *"Nosso ensino, mesmo que de maneira inconsciente, tinha uma visão de Ciência como a grande dona da verdade, capaz de responder a qualquer questão e solucionar qualquer problema da realidade. Começamos a considerar, a discutir, que os modelos científicos são provisórios e evoluem ao longo da história, ou seja, que a Ciência não pode ser ensinada como um produto acabado, que ela é fruto de criações de homens com determinadas visões de mundo e propensos a erros e acertos. Passamos a explorar e enfatizar a idéia de provisoriedade dos modelos científicos, de que nem a Ciência, nem o professor são donos da verdade."*[12]

Além disso, muitos criticam como o conhecimento científico é ensinado e sua contribuição para o mundo. Chassot, por exemplo, defende que atualmente é preciso ensinar mais como usar o conhecimento, do que ensinar mais conhecimento, no sentido de torná-lo um instrumento que facilitaria uma leitura mais adequada e crítica do mundo. Assim, os professores teriam que procurar uma forma de tornar seus alunos mais críticos, tornando-os agentes de transformações, para melhor, do mundo em que vivemos. [13]

Por outro lado, Caniato critica o fato de que quase nada fica do quase tudo que pensamos haver ensinado. Questiona o fato de todas as crianças terem uma curiosidade natural para saber os "comos" e os "porquês" das coisas, principalmente, da natureza, mas que à medida que entram na escola, seu gosto e curiosidade vão diminuindo, chegando,

freqüentemente, à aversão. Essa se manifesta, especialmente, em relação às disciplinas como física e química, que podem até se transformar num verdadeiro terror.[14]

Alguns autores como Driver, Asoko, Leach, Mortimer e Scott, defendem que o maior papel de um professor de ciências é o de atuar como mediador entre o conhecimento científico e os estudantes. Isto seria mais importante que organizar o processo pelo qual os indivíduos geram os significados sobre o mundo natural, além disso, os ajudariam a conferir um sentido pessoal à maneira como as asserções do conhecimento são geradas e validadas.[15]

Através do ensino atual de ciências, onde muitas vezes, o conteúdo é apresentado de forma compactada, descontínua, descentralizada e desvinculado dos conhecimentos dos alunos, é possível que se estejam formando técnicos e não cientistas. Talvez não estejam formando pessoas que pensam sobre os problemas da natureza ou em como modificá-la, mas sim que precisam de procedimentos para executar tarefas aliadas à tecnologia.

A ciência se desvinculou da filosofia, se compartimentalizou e se tornou objetiva, e é desta forma que ainda é ensinada. Por isto, muitas vezes, os alunos acabam decorando conceitos para "passar de ano" e não os aprendendo significativamente. Então, os processos de educação, ensino e aprendizagem, muitas vezes, não estão sendo observados no ensino de ciências.

O ensino é algo diferente da educação, apesar de muitas vezes, aparecem vinculados. A educação pode ser definida, segundo o dicionário Aurélio como:

> *"Ato ou efeito de educar (-se); é o processo de desenvolvimento da capacidade física, intelectual e moral do ser humano, visando sua melhor integração individual e social."*[16]

A educação é complexa e intrigante, além de envolver a integração entre o educador e o educando. O educador tem que ter uma relação forte com o educando, pois interfere e transforma sua vida, visando aprimorá-lo. Por isto, a educação não é exclusividade das instituições de ensino, mas está sempre presente em todos os ambientes, sendo contínua, pois os valores de vida e de cultura são transmitidos e preservados a partir dela.

Segundo a atual *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*:

> *"A educação abrange os processos formativos que se desenvolvem na vida familiar, na convivência humana, no trabalho, nas instituições de ensino e pesquisa, nos movimentos sociais e organizações da sociedade civil e nas manifestações culturais Tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho."*[17]

Como a palavra educação é muito utilizada no âmbito escolar, muitas vezes é confundida com o ensino, que é a transmissão de conhecimentos, informações ou esclarecimentos úteis. O ensino também visa a aprendizagem, porém nem sempre quando há ensino, há aprendizagem e vice-versa.[18]

O ensino seria um processo, um modo pelo qual se facilitaria a aprendizagem, pois é através dele que seriam fornecidas situações planejadas para os aprendizes, que vivenciariam as experiências necessárias para produzir uma modificação.[18]

Tanto a educação quanto a aprendizagem são conseqüências do ensino, mas estes termos também não têm o mesmo significado. A educação é observada, já a aprendizagem ocorre no interior do aprendiz, no seu cérebro, por isto é um fenômeno biológico, que envolve os sentimentos, o uso dos sentidos, da lógica, das idéias, a inteligência, os pensamentos e a memória. Ela é um processo de construção contínua e gradual, que exige uma interação entre a pessoa e o meio onde ela vive; pois a partir dela a pessoa pode se adaptar melhor ao meio, sobreviver e desenvolver suas potencialidades.[19-22]

Para ter aprendizagem é preciso que a pessoa tenha experiências, pois é em virtude delas que ela produz respostas novas, modificando seus pensamentos, formando conceitos que serão usados para pensar sobre o mundo físico e social.[19-22] Portanto, a aprendizagem, a educação e o ensino não se restringem às salas de aula, aos processos que ocorrem entre alunos e professores, mas envolvem todos os processos de mudança de comportamento de uma pessoa.

Mas, a aprendizagem é desafiante, inclusive o aprimoramento do seu processo de sempre foi um grande desafio para os educadores e, embora tenha se tornado objeto de exaustivas discussões e pesquisas, está longe de apresentar soluções definitivas. É óbvio que alguns estudantes demonstram sucesso na escola, mas, muitas vezes, este acontece sem a aquisição de conhecimento significativo. Além disso, o índice de fracasso escolar é muito

alto. Muitas vezes, o próprio aluno interpreta sua aprendizagem como um ato passivo e de responsabilidade do professor. Isto acontece porque ele não está engajado no processo, o que dificulta, ou até mesmo determina, o fracasso no desenvolvimento da sua aprendizagem. Para que este quadro mude seria necessário que o estudante se colocasse como controlador do processo.[23]

Existem na literatura muitos estudos sobre os processos e os problemas relacionados com o ensino e a aprendizagem. Dentre estes, pode-se citar as descrições de métodos, modos de ensinar e formas de se facilitar a aprendizagem; além disso, muitas vezes se enfatizam os problemas relativos aos diferentes métodos que norteiam o processo de ensino-aprendizagem.

Desta forma, existe o método que é chamado de "tradicional", que é o mais criticado. Este método seria uma proposta de educação centrada na figura do professor, onde o princípio é a transmissão de conhecimentos, em aulas expositivas, predeterminadas e fixas, enfatizando a repetição de exercícios e a memorização.[24]

Este método é criticado por levar à memorização por parte do aluno, às tarefas padronizadas, à rotina, às formas mecânicas para a fixação de conhecimentos, conteúdos, informações e procedimentos. Além disso, este método não consideraria as concepções prévias dos alunos, ou seja, eles seriam considerados como mentes vazias a serem preenchidas com informações.[25]

Por outro lado, existem teorias onde o aluno é o centro do processo educativo, tal como defende Rogers.[26-28] Este autor considera que a educação poderia permitir ao aluno, em qualquer nível, estabelecer um real contato com os problemas importantes da sua existência, de modo a distinguir os problemas e as questões que pretende resolver. Portanto, a tarefa do professor seria criar um clima nas aulas que facilitasse a ocorrência de uma aprendizagem significativa que, para Rogers é:

> *"Mais do que uma acumulação de fatos. É uma aprendizagem que provoca uma modificação, quer seja no comportamento do indivíduo, na orientação da ação futura que escolhe, ou nas suas atitudes e na sua personalidade. É uma aprendizagem penetrante, que não se limita a um aumento de conhecimento, mas que penetra profundamente todas as parcelas da sua existência."*[27]

A aprendizagem significativa seria facilitada se o professor fosse congruente, verdadeiro, autêntico, agindo como orientador no processo educativo. O aluno, por sua vez, quando em contato real com problemas da vida, procuraria aprender, desejaria crescer, descobrir, esperaria dominar, gostaria de criar e estaria livre para escolher, como uma pessoa que se respeita e que se motiva.[28]

As idéias de que o aluno deve ser o centro do processo educativo também sofrem críticas, principalmente no que diz respeito ao ensino de ciências. Neste caso, a principal crítica é que os conceitos científicos são difíceis de serem construídos pelos alunos a partir da simples observação, sem o apoio do professor. Pelo contrário, os alunos precisam ser introduzidos às idéias e isto é feito pelo professor, que é um mediador que possibilita o acesso dos alunos às mesmas.[29,30]

Outra concepção é de que o ensino deve ser voltado para o conteúdo; assim, um bom material didático garantiria a aprendizagem dos alunos. Mas, se somente o conteúdo fosse importante no processo de ensino-aprendizagem, com o grande acesso à informação que os alunos têm hoje, principalmente os do nível superior, não seria mais preciso existir professores.

O ensino também não pode ser centrado no conteúdo, pois ele não está somente em sala de aula, mas na televisão, internet, livros, jornais e revistas, além da própria vida cotidiana. Por isto mesmo é que eles têm que ser usados, explorados e explicados pelo professor, que tem a grande tarefa de ser educador e que, por isto, não tem como não ser pesquisador.

Atualmente, é impossível dominar mais de uma área do conhecimento e se manter atualizado em cada uma delas. Isto ocorre porque a quantidade de novos conhecimentos que é gerada a cada ano é muito grande, como conseqüência, há uma superespecialização acadêmica. Para se ter uma idéia, somente pelas revistas catalogadas pelo ISI são publicados atualmente quase um milhão de trabalhos científicos por ano, e se contarmos as demais revistas não catalogadas, este número sobe para cerca de 20 milhões. Por isto, a arte de ensinar acaba se transformando na arte de reduzir, de condensar e de simplificar. Desta forma, os livros didáticos representam uma supersimplificação do conhecimento descrito nestas revistas especializadas.[31]

No ensino universitário, devido a esta grande quantidade de conhecimentos gerados a cada ano, é necessário que o professor seja também um pesquisador. Mas, este não pode somente decodificar o conhecimento, ou seja, entender a informação nova recém publicada, mas precisa também saber inseri-la em um corpo de conhecimentos previamente estabelecidos, de modo a torná-lo útil. Assim, uma mesma informação pode ser utilizada de formas distintas pelos diversos especialistas e a maior importância da universidade é aumentar a capacidade de decodificar e abranger um número crescente de especialidades nas diversas áreas do saber.[31]

Além disso, mesmo que o aluno seja considerado um mero receptor do processo de ensino-aprendizagem, para quem o trabalho do professor deve ser dirigido, parece ser impossível desconsiderar seu potencial de realizador e catalisador da sua própria aprendizagem. Antes de o aluno entrar na sala de aula, ele já pode possuir conhecimentos e concepções sobre o conteúdo que será discutido. Principalmente os alunos do ensino superior, que possuem toda uma bagagem cultural e intelectual que foi adquirida durante todos os seus anos de ensino fundamental e médio, e aqueles adquiridos através de sua cultura, acumulada durante sua vida.[32-34]

Para que haja uma integração total entre o professor, o aluno e o conteúdo, o que "teoricamente" levaria à aprendizagem mais significativa, este conhecimento deve ser aproveitado. Por isto, somente o material didático pode não ser suficiente, qualquer, e por mais interessante, que seja seu conteúdo. Dessa forma, através da interação entre os conhecimentos do aluno e do professor, há um maior enriquecimento do conteúdo.

O professor pode agir introduzindo elementos novos, que instigam o aluno a pesquisar e a procurar respostas para interpretar melhor os conteúdos trabalhados. É óbvio que quando o aluno sente, conhece, ou pelo menos já ouviu falar de um determinado conteúdo, fica muito mais fácil do professor inserir estes elementos novos, discutir e ampliar seu horizonte.

Como podemos observar existem muitos problemas e considerações que podem ser feitas sobre a educação e o ensino de ciências. Inclusive, esta crise, é sempre muito debatida na literatura, tal como afirma Cortella:

> *"A educação está em crise!*
> *Em algum momento de nossa história republicana, essa frase terá deixado de ser dita? Algum educador consegue recordar-se da ausência desta crise? Provavelmente não. A crise da educação tem sido inerente à vida nacional porque não atingimos ainda patamares mínimos de uma justiça social compatível com a riqueza produzida pelo país e usufruída por uma minoria. Não é, evidentemente, "privilégio" da Educação; todos os setores sociais vivem sucessivas e contínuas crises.*
> *A crise educacional tem raízes estruturais históricas e se manifesta de formas diversas em conjunturas específicas: confronto do ensino laico versus ensino confessional, conteúdos e metodologias, adequação de novas ideologias, democratização do acesso, gestão democrática, educação geral versus formação especial, educação de jovens e adultos, escolaridade reduzida, público versus privado, baixa qualidade de ensino, movimentos corporativos carecendo de greves constantes e prolongadas, despreparo dos educadores, evasão e retenção escolar. Estes e outros motivos de crise ganham agudização episódica em oportunidades variadas por todo este século em nosso país."*[35]

Mas, não podemos desanimar! Todos estes problemas que existem na educação, talvez sirvam como um ponto de partida para buscar formas de minimizá-los ou, o que é mais difícil, de supri-los. Não se pode perder a esperança, inclusive Paulo Freire atenta a isso:

> *"A matriz da esperança é a mesma da educabilidade do ser humano: o inacabamento de seu ser de que se tornou consciente. Seria uma agressiva contradição se, inacabado e consciente do inacabamento, o ser humano não se inserisse num permanente processo de esperançosa busca. Esse processo é a educação. Mas precisamente porque achamos submetidos a um sem-número de limitações nunca, talvez tenhamos tido mais necessidade de sublinhar, na prática educativa, o sentido da esperança do que hoje. Daí que, entre saberes vários fundamentais à prática de educadores e educadoras, não importa se progressistas ou conservadores, se salienta o seguinte: mudar é difícil, mas é possível."*[36]

Então, as críticas não se resumem à ciência, ou ao seu ensino, mas à educação de um modo geral. Em particular, no ensino de química, as críticas vão desde a extensão dos conteúdos, a abstração dos conceitos, a dificuldades dos modelos, a falta de ligação entre os modelos e a realidade do aluno, dentre outras.[37-43]

Ensinar química é um grande desafio! São inúmeras as dificuldades encontradas pelo professor de química, em qualquer nível de ensino. Isto é contraditório, se pensarmos o quanto esta ciência é importante para a sociedade e o quanto ela está presente no cotidiano de qualquer cidadão.

Além disso, através dela pode-se fazer reações e transformações que encantam os alunos; explicar a teoria a partir da prática, conceitos relacionando-os com o cotidiano; relacioná-los com seu histórico ou até mesmo ensinar modelos utilizando programas de computador, que já estão disponíveis. Estas são apenas algumas das ferramentas que os professores de química de todos os níveis, têm à disposição para encantar e ajudar os alunos a entender o universo químico.[37-44]

A química está presente em tudo! O nosso corpo, bem como o que acontece com ele, ou seja, a respiração, alimentação, movimentação, excreção, sensação, tem muito de química! Nos materiais que nos rodeiam: medicamentos, alimentos, cosméticos, combustíveis, computadores, telefones celulares, papéis, roupas, em tudo isso ela está inserida!

Em muitas situações, pode-se atribuir esta rejeição à propaganda de que química é ruim! Produtos químicos são venenos e drogas, que matam e poluem; com ela são produzidas bombas, armas, gases tóxicos, produtos cancerígenos, mutagênicos, tetarogênicos, inflamáveis...

No entanto, mesmo com tantas ferramentas disponíveis, os professores de química ainda encontram muitas dificuldades. Talvez, a maior dificuldade esteja na linguagem que os químicos estão tão acostumados a utilizar. Mesmo com todos os argumentos, que mostram que a linguagem química é um instrumento privilegiado para a elaboração de uma forma de pensar em química, existem professores que se dedicam a estabelecer regras e procedimentos para montar e desmontar fórmulas de compostos, a dar nomes a milhares de substâncias, às quais, muito provavelmente, os alunos jamais tiveram ou terão acesso.[45]

Além disso, a dificuldade do conceito também é muito grande! Na ciência em geral, os conceitos são explicados através de modelos, mas é preciso adequá-los para o ensino. A química, tradicionalmente, vem sendo ensinada como uma ciência pura, divida em quatro ramos principais: físico-química, analítica, orgânica e inorgânica. Muitas vezes, estas divisões e suas subdivisões a explicam de um modo extremamente especializado e aliado à

tecnologia. Então, talvez, além de mudar as metodologias, também seja necessário repensar o currículo no atual ensino de química. Segundo Moreira e Silva:

> *"O currículo há muito tempo deixou de ser apenas uma área meramente técnica, voltada para questões relativistas a procedimentos, técnicas, métodos. Já se pode falar agora em uma tradição crítica do currículo, guiada por questões epistemológicas. Embora questões relativas ao como do currículo continuem importantes, eles só adquirem sentidos dentro de uma perspectiva que as considere em sua relação com questões que perguntem pelo por quê das formas de organização do conhecimento escolar.*
> *Nessa perspectiva, o currículo é considerado artefato social e cultural. Isso significa que ele é colocado na moldura mais ampla de suas determinações sociais de sua historia, de sua produção contextual. O currículo não é um elemento inocente e neutro de transmissão desinteressada do conhecimento social. O currículo está implicado em relações de poder, o currículo transmite visões sociais particulares e interessadas, o currículo produz identidades individuais e sociais particulares. O currículo não é um elemento transcendente e atemporal, ele tem uma história vinculada a formas específicas e contingentes de organização da sociedade e da educação."*[46]

Como modificar todo este quadro? Como ensinar significativamente? Como tornar os conteúdos a serem ensinados mais interessantes? Como minimizar a crise na educação e, em particular, no ensino de química? Como tornar os conteúdos mais próximos da realidade dos alunos?

Uma das formas que pode ser útil para aproximar o aluno de sua realidade é explicar a química de uma maneira interdisciplinar. Com o grande desenvolvimento tecnológico e com a grande rapidez e especialidade das pesquisas, o ensino, não só o de química, mas de um modo geral, ficou muito específico e com uma carga muito grande de conteúdo e conceitos. Além disso, a ciência passou por um processo de departamentalização e especialização, mas atualmente se espera que os novos profissionais tenham um conhecimento mais globalizado e abrangente.[47]

Estas múltiplas divisões e especializações tiveram conseqüências para o ensino, por meio dos currículos. Atualmente, observa-se que há uma volta ao interesse pela unidade do saber; isto não significa regressar à filosofia, pois esta volta ao interesse da unidade do saber é manifestada de uma nova maneira, explorando-se as conexões entre setores isolados e as possibilidades das áreas interdisciplinares.[47]

Atualmente, a questão da interdisciplinaridade tem estado em pauta na maior parte das discussões sobre educação e sobre o conhecimento científico. Isso talvez seja uma conseqüência das "crises" que estão ocorrendo nestes setores, já que a especialização das ciências produziu uma fragmentação do saber.[47-52]

Desde a consolidação da ciência moderna, que ocorreu com Galileu, os cientistas adotaram um método que a conduziu para um conhecimento extremamente especializado, onde o objeto de estudo foi se tornando cada vez mais reduzido, sem que isso prejudicasse a quantidade de informações obtidas sobre ele.[51]

Isto foi positivo na história da ciência, pois, desta forma, a humanidade conseguiu acumular uma grande quantidade de informações sobre muitos aspectos da realidade.[50] Além disso, conseguiu desvendar muitos "segredos" da natureza, aprofundar conhecimentos, desenvolver tecnologias e encontrar muitas maneiras de "diminuir seus problemas".

Mas, por outro lado, tudo isto fez com que muitos cientistas perdessem a noção de totalidade. Como a quantidade de informações se expandiu muito, não há mais a possibilidade de uma mesma pessoa apresentar domínio total de todas as áreas do conhecimento.[51]

Desta forma, a partir de um conhecimento interdisciplinar, os cientistas, talvez, recuperariam esta noção de totalidade. Mas, não se obtêm uma visão interdisciplinar da realidade, simplesmente somando ou justapondo os conteúdos de várias áreas do conhecimento, já que a integração entre eles exige um pensar que considere também a contradição existente entre as diversas áreas.[51]

Então, o que é a tal da interdisciplinaridade? Existem várias definições, por exemplo, segundo Japiassu:

> *"É a interação entre duas ou mais disciplinas, podendo ir da simples comunicação das idéias até a integração mútua dos conceitos, da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização da pesquisa."*[51]

Outra definição de interdisciplinaridade é proposta por Lück, que afirma que a:

> *"A interdisciplinaridade se constitui em um processo contínuo e interminável de elaboração do conhecimento, orientado por uma atitude crítica e aberta à realidade, com o objetivo de apreendê-la e apresentar-se nela, visando muito menos a possibilidade de descrevê-la e muito mais a necessidade de vive-la plenamente."*[51]

Alguns autores, tal como Lopes, acreditam que não existe uma definição clara para o significado da palavra interdisciplinaridade:

> *"Não existe um consenso quanto ao significado do termo interdisciplinaridade. Na maior parte das vezes, ele traduz a mera superposição de disciplinas, correspondendo a uma perspectiva instrumental necessária, mas não suficiente. Esse tipo de interdisciplinaridade é freqüentemente praticado na ciência, quando se reúnem diferentes especialistas para, em nome de um problema pratico a ser resolvido, trabalharem em conjunto. Nesse caso, nenhum pesquisador se aprimora do modo de construção do conhecimento cientifico do outro. A incorporação de elementos de uma outra ciência se dá apenas no nível da informação necessária para um objetivo pragmático."*[53]

Podemos perceber que existem muitas divergências a respeito do significado e da aplicação da interdisciplinaridade tanto no ensino, quanto na pesquisa. A interdisciplinaridade vai contra a extrema especialização, mas isto não significa que a especialização seja ruim. Talvez, seja interessante, antes de especializar, analisar e compreender o todo, de maneira interdisciplinar.

Como mencionamos anteriormente, foi através da especialização que a humanidade acumulou conhecimentos. No entanto, atualmente, existem muitas informações e muita divulgação destas informações. Com o avanço da tecnologia, principalmente, com a internet, as pessoas passaram a ter acesso a uma enorme gama de informações. Mas, é necessário saber o que fazer com elas e para que (ou para quem) elas servem.

Desta forma, torna-se a cada dia que passa mais difícil selecionar conteúdos para repassá-los através do ensino e assim decidir sobre os conteúdos curriculares; por outro lado, fica também complicado, tanto para alunos, quanto para professores, se manterem atualizados, mesmo dentro de sua especialização.

Talvez a melhor forma de manter a atualização e o senso de totalidade de professores e alunos, seja inserir de materiais interdisciplinares tanto no ensino básico, quanto no superior, para a posterior especialização na pós-graduação. Neste sentido, a química é uma ciência privilegiada, pois seus conceitos podem ser vinculados, praticamente, a todas as áreas do conhecimento. As idéias de se inserir a interdisciplinaridade não só no ensino de química, mas também em todas as outras áreas do conhecimento, têm como objetivo principal integrá-las. Isto poderia facilitar o entendimento do aluno, e este, conseqüentemente, passaria a ter uma aprendizagem mais significativa.

A interdisciplinaridade não é útil somente para tornar o ensino mais interessante, ou mais motivante para o aluno, mas é uma atitude formativa que se espera que seja desenvolvida nele durante a sua graduação, focando uma nova postura frente ao conhecimento. Inclusive, na química, segunda suas Diretrizes Curriculares, à estrutura geral dos cursos:

> *"Deve-se evitar a compartimentalização do conhecimento, buscando integração entre os conceitos de Química e correlações entre a Química e áreas afins, objetivando a interdisciplinaridade"*[54]

Atualmente, o mercado profissional está exigindo dos alunos recém-formados, mais do que experiência e acúmulo de conhecimento, mas dinamismo, facilidade de comunicação, fluência em línguas, conhecimento em informática, iniciativa, vontade e dedicação. O diploma universitário não é mais garantia de bons empregos, como acontecia no passado; mas espera-se que durante o curso de graduação, sejam desenvolvidas determinadas habilidades e competências nos alunos, que não lhe eram exigidas há alguns anos atrás.[55-57]

Para os alunos de química, segundo as *Diretrizes Curriculares* espera-se que ele desenvolva um auto-aperfeiçoamento contínuo, uma capacidade para estudos extracurriculares, um espírito criativo e tenha uma formação humanística que lhe permita exercer sua cidadania. Além disso, o aluno tem que reconhecer a química como uma construção humana, compreendendo, assim, os aspectos históricos de sua produção e suas relações com os contextos culturais, socioeconômicos e políticos. Também é necessário que

ele saiba fazer uma avaliação crítica da aplicação do conhecimento em química e identifique e apresente soluções criativas para problemas relacionados com a química ou com áreas correlatas.[54]

Atualmente, na maioria dos cursos de graduação, nem todas estas características são desenvolvidas e, talvez, seja por isto que nas próprias *Diretrizes Curriculares* também se discuti que é preciso que a universidade brasileira repense, redefina, instrumentalize-se para lidar com um novo homem de um novo mundo, que possui múltiplas oportunidades e riscos ainda maiores. Além disso, existe um consenso entre professores, associações científicas e classistas, dirigentes de políticas educacionais e mesmo no geral da população instruída que o atual paradigma de ensino é inviável e ineficaz. Isto porque os currículos vigentes estão transbordando em conteúdos informativos em flagrante prejuízo dos formativos, fazendo com que o estudante saia dos cursos de graduação com conhecimentos já desatualizados e não suficientes para uma ação interativa e responsável na sociedade, seja como profissional, seja como cidadão.[54]

Diante disso:

> *"Observam-se tendências que demonstram preocupação com uma formação mais geral do estudante, com a inclusão, nos currículos institucionais, de temas que propiciem a reflexão sobre caráter, ética, solidariedade, responsabilidade e cidadania. Prega-se, igualmente, a abertura e flexibilização das atuais grades curriculares... Que deverá, necessariamente, assentar-se sobre conceitos de "matéria" e "interdisciplinaridade"...*
> *O estudante deve ter tempo e ser estimulado a buscar o conhecimento por si só... E mais: aprender a "ler" o mundo, aprender a questionar as situações, sistematizar problemas e buscar criativamente soluções. Mais do que armazenar informações, este novo profissional precisa saber onde e como rapidamente buscá-las, deve saber como "construir" o conhecimento necessário a cada situação.*
> *Mas para que esses novos currículos, montados sobre este novo paradigma educacional, sejam eficazes, há que haver, igualmente, uma mudança de postura institucional e um novo envolvimento do corpo docente e dos estudantes. Já não se pode aceitar o ensino seccionado, departamentalizado, no qual disciplinas e professores se desconhecem entre si. As atividades curriculares dependerão da ação participativa, consciente e em constante avaliação de todo o corpo docente."*[54]

Se estas diretrizes estão levantando um problema, ressaltando que uma forma de minimizar este problema é inserir a interdisciplinaridade no ensino superior de química, deve-se realizar projetos, onde os conceitos químicos aparecem entrelaçados a conceitos de outras áreas do conhecimento e a química pode passar a ser interpretada como uma ciência contextualizada e não somente como uma ciência pura.

Nos cursos de graduação em química, o aluno precisa cursar disciplinas em outras áreas durante sua formação. Porém, na maioria dos cursos, não há uma ligação entre as teorias e conceitos com os de áreas diversas. Pior ainda é que não há uma ligação entre as teorias da própria química, pois a divisão de áreas faz com que o aluno tenha a impressão de que, por exemplo, a físico-química, não está relacionada com a orgânica. Estas múltiplas divisões tornam o ensino multidisciplinar e podem fazer com que os alunos não adquiram uma visão geral, necessária para sua atuação não só profissional, mas enquanto cidadão.

Um profissional de química, para conseguir executar as atribuições legais que sua formação lhe confere, precisa saber contextualizar os conceitos aprendidos com o mundo que o rodeia. Como o universo da química é muito amplo, pode-se conseguir isto em praticamente todos os conceitos e teorias.

No entanto, ainda não existem materiais interdisciplinares disponíveis para o professor. Isto dificulta sua inserção no ensino de química, principalmente, em nível superior. Inclusive, na literatura existem poucos artigos e projetos relacionados com a interdisciplinaridade no ensino de química.

Existem algumas áreas da química que são interdisciplinares, tais como geoquímica[58], bioquímica, físico-química[59], neuroquímica, química ambiental, química computacional[60], dentre outras, tal como, uma disciplina menos popular, chamada de filosofia química[61]. Existe ainda na literatura, algumas abordagens, onde os conceitos da química inorgânica, por exemplo, seriam vinculados com o progresso humano, explicando suas contribuições para a indústria, sociedade e economia, criando uma nova disciplina.[62]

A maioria dos artigos que abordam a interdisciplinaridade no ensino de química, ilustram relações entre os conceitos da química com os da física e da biologia.[63-74] Existe até, em muitos países do mundo, disciplinas interdisciplinares como física bioquímica, mas estas disciplinas são oferecidas, principalmente, em cursos de bioquímica.[72] Algumas

universidades possuem disciplinas experimentais interdisciplinares, onde são feitos experimentos que conectam a química, a biologia e a física.[73,74]

No entanto, no Brasil não existem materiais interdisciplinares disponíveis, especialmente, para o ensino de química em nível superior. Esta carência e a importância de se inserir a interdisciplinaridade neste nível de ensino, tal como atentam as Diretrizes Curriculares, nos motivou a elaborar um material didático com estas características.

Mas, como desenvolver uma perspectiva interdisciplinar na elaboração de um material didático e em disciplinas para o ensino de química em nível superior?

OBJETIVO

Baseados nos problemas destacados anteriormente, e na dificuldade de se verificar a prática da interdisciplinaridade, tanto em aulas quanto em livros didáticos para os diversos níveis de ensino, decidimos desenvolver um material didático, complementar aos já existentes, direcionado para o ensino superior de química e áreas afins. O propósito é que este material apresente algumas características peculiares, dificilmente encontradas nos materiais disponíveis. Almejamos que ele seja interdisciplinar, relacionando o conteúdo desenvolvido ao cotidiano do aluno, ao mesmo tempo em que apresente uma abordagem contextualizadora e abrangente de cada conteúdo enfatizado, que possa melhorar formação pessoal e profissional do estudante, levando a uma aprendizagem mais significativa.

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para contemplar todas as características esperadas de um material interdisciplinar, escolhemos o tema "*Química das Sensações*", que além de ser diferente dos materiais didáticos existentes e conter conteúdos relevantes para a formação pessoal e profissional do estudante, ainda é instigante, está presente na vida de todas as pessoas, tem uma abordagem relativamente simples, é motivante e envolve várias áreas do conhecimento, tais como: neurologia, filosofia, psicologia, farmacologia, alimentos, física e química.

Este material deverá abordar várias teorias e conceitos químicos, relacionando-os com os de outras áreas, sem estabelecer uma divisão entre elas. Entende-se por "*Química das Sensações*", a interpretação química dos estímulos externos e internos que provocam, no organismo humano, alguma resposta biológica. Dentre todo o universo contemplado pelas sensações, pode-se destacar a visão, o paladar, o olfato, a dor, bem como as sensações emocionais, como ansiedade, depressão, euforia e alucinações, dentre outras.

Uma análise superficial da interpretação química destas sensações destacadas permite identificar uma série de conceitos e teorias básicas, contidas em qualquer conteúdo programático dos cursos de graduação de química. Espera-se que ao final do curso de graduação, o aluno tenha conseguido uma bagagem de conhecimentos para entender e/ou interpretar diversos aspectos relacionados com seu cotidiano, inclusive sobre sensações. Infelizmente, como os currículos e conteúdos são propostos no ensino de química, de maneira desvinculada de contextos amplos, os egressos não imaginam que possuem conhecimentos necessários para interpretar seu cotidiano.

O formato que pretendemos dar ao trabalho não deverá apresentar uma abordagem detalhada dos conceitos que nele são discutidos, para não torná-lo especializado. Além disso, somente um material interdisciplinar não é suficiente para fazer com que o aluno entenda melhor, aprende mais significativamente, ou ainda se interesse mais pelos conteúdos curriculares. Outros elementos são ainda mais importantes no processo de ensino-aprendizagem como a integração entre professores e alunos, que será fundamental para um bom aproveitamento da proposta.

Este material, portanto, não terá o intuito de substituir nenhum outro, nem de ilustrar um determinado roteiro para disciplinas do ensino superior de química. Ele será

desenvolvido para complementar os já existentes, além disso, quando possível serão inseridos conceitos básicos que fazem parte de qualquer currículo dos cursos de química de ensino superior.

O material será dividido nos seguintes capítulos:

1. *"Sensações: Porta de Entrada das Informações do Mundo para a Mente"*
2. *"Visão, Luz e Cores"*
3. *"Moléculas e Sensações de Cor"*
4. *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"*
5. *"Sensações de Sabor"*
6. *"Sensações de Aroma e de Odor"*
7. *"Neuroquímica e Sensações"*
8. *"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"*
9. *"Sensações emocionais e drogas"*

Em cada capítulo, utilizando uma linguagem coloquial, apresentaremos o texto, onde, inicialmente, serão inseridas discussões com questões contextualizadoras sobre o tema em questão. Estas podem ser apresentadas para os alunos em sala de aula, para que o assunto seja debatido e para fazê-los discutir, pensar a respeito do conteúdo, o que talvez, o deixe mais interessado em conhecer outros conceitos, além dos freqüentemente debatidos num curso superior de química.

Além disso, como as questões propostas fazem parte da vida e do cotidiano de qualquer pessoa, os alunos podem trazer muitos elementos para a sala de aula, o que tornaria a disciplina mais participativa. Este tema também permite que muitos outros assuntos sejam explorados e o professor pode utilizar este recurso nas suas aulas. O professor poderia mostrar uma concepção ampla do assunto, ilustrando os conceitos das diversas áreas e então enfocar os conceitos que deseja ensinar.

CAPÍTULO 1

"Sensações: Porta de Entrada das Informações do Mundo para a Mente!"

Sou um guardador de rebanhos,
O rebanho é os meus pensamentos,
E os meus pensamentos são todos sensações.
Penso com os olhos e com os ouvidos,
E com as mãos e os pés,
E com o nariz e a boca,
Pensar uma flor é vê-la e cheirá-la,
E comer um fruto é saber-lhe o sentido.
Por isso quando num dia de calor,
Me sinto triste de gozá-lo tanto,
E me deito ao comprido na erva,
E fecho os olhos quentes,
Sinto todo o meu corpo deitado na realidade,
Sei a verdade e sou feliz.
Fernando Pessoa[1]

Todo mundo já se perguntou um dia: quem sou? Para onde vou? Por que estou aqui? Qual a razão de viver? Estas questões "existenciais" fazem parte de nossa vida! Na realidade, elas escondem as questões: o que é vida? Qual seu sentido? O que é realidade? Cada pessoa tem sua própria resposta para estas questões e elas envolvem todas as suas experiências, sensações, percepções, memórias, crenças e paixões!

Nossa mente está cheia de sensações, emaranhadas, que se organizaram em percepções, memórias, pensamentos, lembranças e aprendizagens. Mas afinal, o que é uma sensação? O que é uma percepção? Qual a diferença entre sensação e percepção?

Uma sensação pode ser definida como uma resposta que o nosso organismo dá aos estímulos do ambiente. É a conseqüência da capacidade que nós, e outros animais, temos de captar os diferentes tipos de energia que estão nos rodeando. Depois de captadas, estas energias são transformadas e enviadas para o sistema nervoso central, do qual o cérebro faz parte. Para existir uma sensação devem existir receptores, que são células especializadas em extrair as informações do ambiente, ou seja, de captar diferentes tipos de energia, transformá-las e transmiti-las para o sistema nervoso central, onde são integradas e decodificadas. [2-5]

Os receptores sensoriais enviam informações do ambiente para os neurônios, que são células especiais capazes de conduzir estas informações e que estão presentes em todo o sistema nervoso. Eles transmitem informações através da condução de impulsos nervosos e de uma comunicação química. Assim, a partir desta comunicação que ocorre entre neurônios de diferentes partes do cérebro é que a sensação é interpretada.[4-6]

Portanto, uma sensação é uma resposta do organismo a um estímulo! Porém, na nossa vida diária, nunca recebemos um único estímulo. Por exemplo, ao prestar atenção em uma pessoa, reparamos como é o seu rosto, seu corpo, a roupa que está usando, os gestos que ela faz, a maneira como fala, onde está, a impressão que nos causa. A seleção, a organização, a integração e a interpretação de todas estas sensações é o que chamamos de percepção.[2,7-9]

É a percepção que está associada à memória, à emoção, ao pensamento, a imaginação, a linguagem e a aprendizagem. Ela envolve toda nossa personalidade, história pessoal, afetividade, desejos e paixões, é uma maneira fundamental de entrarmos em contato com o mundo.[2] *Dificilmente separamos a sensação da percepção, porque, automaticamente, organizamos os estímulos que estamos recebendo.*[7-9]

Portanto, não existem sensações parciais que depois seriam juntadas e organizadas como percepção. Sentimos e percebemos um conjunto e respondemos a ele, através dos nossos pensamentos e comportamentos. As sensações estão e sempre estarão presentes em nossas vidas! Então, podemos também nos perguntar: o que é o presente? O que é o passado? O que é o futuro?

Nosso passado está em nossa mente e na mente das pessoas com quem convivemos, são nossas lembranças, nossas percepções das sensações que já tivemos. Mas também são as lembranças e percepções das pessoas que conviveram conosco! Por exemplo, nosso nascimento faz parte do nosso passado, mas não nos lembramos dele. No entanto, as pessoas que o presenciaram podem nos contar o que aconteceu neste dia. Mas, estas lembranças podem já estar distorcidas pelas outras lembranças que a pessoa tem e pelo que representamos para ela! Assim, a memória nos engana! Talvez um modo de ajudá-la seja através de fotografias e filmagens, mas, mesmo assim, ao olhar para uma fotografia podemos nos recordar do momento que ela foi tirada, mas com a percepção de mundo que

temos na hora que a estamos observando e não com a que tínhamos na época em que foi feita.

Já o presente é um momento, neste momento estamos tendo sensações que estão se organizando em percepções em nossa mente. Não estamos atentos a todos os estímulos que estão nos rodeando, mas só àqueles que nos chamam mais atenção, estes entram verdadeiramente em nossa mente. Talvez sejam estes mesmos estímulos que se transformarão em lembranças num próximo momento!

Então, o que é o futuro? Ele existe? Ele virá? Por que fazemos as coisas hoje? Sabemos que o futuro é algo que ainda não existe, que ainda não chegou, mas que imaginamos! Muitas vezes, vivemos um presente imaginando o futuro, planejamos, medimos as conseqüências, criamos um mundo que ainda não existe em nossa mente. Mas como isto é possível? Isto só é possível porque temos no nosso cérebro informações para tal! De onde vieram estas informações? Dos nossos sistemas sensoriais! É por isto, que as *sensações são a porta de entrada do mundo exterior em nossa mente...*

Entender as sensações é se entender! Talvez este seja um caminho para começarmos a entender as outras pessoas! Sabemos que sentir, pensar, imaginar, ser, aprender envolve muito mais que estímulos e respostas a estes estímulos! É necessário um trabalho muito maior do cérebro, que depende de toda uma organização e integração que envolve cada célula, cada molécula de nosso corpo.

Então, o que é real? Por que, geralmente, as pessoas têm percepções do mundo exterior parecidas? O que prova que o mundo exterior existe fora da nossa mente? Nada prova! Temos percepções parecidas, porque nosso cérebro é parecido em toda nossa espécie! Além disso, estas percepções são "ditas" coerentes, ou seja, a percepção que uma pessoa tem é "similar" à de outra pessoa.[10] No entanto, podemos nos questionar: mas isto não é aprendido? Sim! Por exemplo, nós aprendemos a dar nomes para os objetos do ambiente de maneira similar às outras pessoas que falam a mesma língua que nós...

Será que isto se estende a todos os seres humanos? Não! Muitas pessoas têm outras percepções, tem cérebros funcionando de outra maneira. Por exemplo, uma pessoa que nasceu sem a visão, inicialmente, não possui uma memória visual, mas pode construí-la utilizando outro sentido, tal como o tato. Pessoas que nasceram surdas também não

possuem uma memória auditiva, mas este silêncio não impede que elas pensem, aprendam ou percebam o mundo!

Nossos sentidos são a porta de entrada do mundo para o nosso cérebro que integra as informações que chegam até ele, formando nossas percepções e pensamentos! Para conhecermos o mundo em que vivemos, nosso sistema nervoso sofre influências genéticas e ambientais, criando assim nossa personalidade, nossa história, nosso jeito de ser!

As percepções enganam! Por exemplo, no nosso cotidiano, freqüentemente, descrevemos a cor vermelha como "quente", ou uma pessoa como doce, ou seja, utilizamos a linguagem para conferir características sensoriais para algo que não estimula aquela sensação. Da mesma forma, relacionamos uma imagem com um som, com um sabor ou com um cheiro, a partir dos elementos que temos na memória.[2]

No entanto, existem pessoas que têm uma característica rara chamada sinestesia. Para estas pessoas um som pode ser sentido como uma cor ou um cheiro; uma letra pode provocar a sensação de um som; uma forma pode provocar um sabor. Parece loucura, algo impossível de existir, mas não é! Para as pessoas que possuem a sinestesia um estímulo provoca reações em um receptor de outro sistema sensorial, sua percepção diferente é real, pois não se altera com o passar do tempo, ou seja, se um som dá origem a uma imagem, toda vez que a pessoa ouvir o som, ela terá a mesma imagem.[11]

Existem muitas explicações para a sinestesia, uma delas é que as partes do cérebro estariam desconectadas umas das outras. Mas, ao contrário do que se possa imaginar, as pessoas que têm sinestesia, não descrevem suas sensações como desagradáveis, além disso, freqüentemente, falam que elas ajudam a perceber melhor o mundo.[11]

Mas, o que a química tem a ver com tudo isso? Como seus conceitos ajudam a compreender as sensações? O que é a química das sensações?

- **Química das sensações**

Os conceitos explicados pela química são muito úteis para que possamos entender as sensações. No entanto, estes conceitos isolados não nos explicam nada! Na realidade para as entendermos é necessário interligar os conceitos da química com os de outras áreas

do conhecimento tais como: física, biologia, filosofia, psicologia, farmacologia, alimentos, neurologia, dentre outras.

Esta interligação de conceitos de diversas áreas é a chamada de interdisciplinaridade! Ela aparecerá em todas as partes deste texto, por isto, não mostraremos nenhuma subdivisão entre áreas. Além disso, não existe uma linha de pesquisa específica da química que estude as sensações! Na realidade, a química das sensações existe em estudos especializados, tal como quando se estuda um determinado aroma ou um determinado composto colorido.

Neste material são discutidos os conceitos químicos que explicam as sensações, bem como as moléculas e as diversas formas de energia presentes no mundo que estimulam os receptores dos sentidos, e para explicá-los utilizamos conceitos químicos, daí a denominação química das sensações.

Por exemplo, para explicar as sensações temos que entender a comunicação elétrica e química que ocorre no nosso cérebro. Para isto, temos que discutir conceitos da química, que quando interligados a conceitos da física e da biologia, particularmente, na neurologia, de maneira interdisciplinar, adquirem um sentido.

Então, a química das sensações procura explicar o que existe no ambiente que estimula receptores do nosso corpo que, por sua vez, enviam informações para o cérebro, pois é nele que a energia do ambiente é transformada em sensações! A seguir explicaremos de forma resumida as sensações que serão discutidas neste material.

- **Sensações visuais**

O que é cor? Uma resposta coerente para esta questão envolve muitos conceitos, não somente da química, mas de outras áreas do conhecimento. Por exemplo, a cor está relacionada com a luz, mas também está relacionada com os diversos compostos que enxergamos como coloridos que estão no ambiente. Portanto, a cor está relacionada com a visão.

Para existir esta sensação é preciso existir um estímulo, que neste caso é a luz com uma determinada quantidade de energia. A luz pode interagir com as moléculas presentes no ambiente e ser absorvida e refletida por elas. Quando a luz é refletida ela pode entrar nos

nossos olhos e ser captada por determinados receptores, chamados de fotorreceptores. Assim, os estímulos luminosos que estão na frente dos nossos olhos são transformados pelos fotorreceptores em uma imagem, que é transformada em sinais, que são enviados pelos próprios fotorreceptores para os neurônios do olho, que, por sua vez, se comunicam com neurônios os do cérebro. É no cérebro que a cor existe, portanto, ela é uma sensação!

Além disso, existem muitos compostos presentes no ambiente que causam as mais diversas sensações de cor. Quais são eles? O que têm em comum? Quais são suas características? Estas e outras questões serão discutidas nos capítulos *"Visão, Luz e Cores"* e *"Moléculas e Sensações de Cor"*.

- **Sensações de frio e calor**

Para explicar as sensações de frio e calor podemos estabelecer relações entre a temperatura ambiente, a da pele e a interna do corpo. Por exemplo, sabemos que a temperatura da Terra varia de acordo com os seus movimentos e que isto só é possível porque existe aqui uma atmosfera adequada para manter a temperatura da Terra estável. Mas, como agem as moléculas que estão na atmosfera?

O ozônio da atmosfera age absorvendo energia com comprimentos de onda da região do ultravioleta para que seus elétrons sofram transições eletrônicas. Já as moléculas de dióxido de carbono, água, metano e outros gases minoritários, realizam o efeito estufa, isto é, absorvem radiação com comprimentos de onda do infravermelho, para aumentar a amplitude dos seus movimentos de vibração e de rotação. A parte da energia que não for absorvida por estas moléculas, é refletida em todas as direções, sendo que uma parte é reemitida para o espaço e outra é direcionada para a Terra, cujas moléculas da superfície também refletem a radiação do infravermelho.

Assim, a Terra é mantida permanentemente aquecida, devido aos seus movimentos, que modifica os ângulos de incidência dos raios solares e devido ao efeito estufa dos gases da atmosfera. Mas, o que tudo isto tem a ver com sensações? Como sentimos frio ou calor? O que isto influencia no nosso organismo? Como nosso organismo identifica as variações de temperatura do ambiente? O que isto nos influencia? Estas e outras questões serão discutidas em *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"*.

- **Sensações de sabor, odor e aroma**

Sabemos que existem várias sensações e que os alimentos, por exemplo, evocam sensações diversas! Por exemplo, antes de ingerir um determinado alimento, utilizamos a visão, desta forma, observamos seu aspecto, sua cor e sua textura. Mas, não é só isto! Também sentimos sua temperatura, se está quente ou frio! Além disso, também o cheiramos, para então, experimentarmos e sentirmos seu sabor e seu aroma.

Então, o que diferencia um alimento de outro? O que faz um alimento ser agradável para uma pessoa e desagradável para outra? O que confere um sabor característico a um alimento? Quais são os tipos de sabor que podem existir?

Ao contrário do que podemos imaginar, podemos sentir, basicamente, quatro tipos de sabores: amargo, azedo, salgado e doce. Mas, sabemos que um chocolate, por exemplo, é doce, e que o açúcar também é. No entanto, são alimentos diferentes e que, portanto, causam sensações diferentes. Então, como isto é possível?

Na realidade, estes alimentos evocam o mesmo sabor, que é o sabor doce! Mas, porque o chocolate é diferente do açúcar? Oque os diferencia é o aroma, que é diferente do sabor! Assim, para sentirmos os sabores são estimulados receptores presentes em nossa língua, mas os aromatizantes estimulam também os receptores presentes em nosso nariz. Portanto, o aroma é uma combinação de sabor e de olfato! Nos capítulos *"Sensações de Sabor"* e *"Sensações de Odor e Aroma"* discutiremos melhor estas questões.

- **Sensação de dor**

Alguns alimentos, tais como as pimentas, podem causar dor e, freqüentemente, acreditamos que a dor é uma sensação desagradável. Mas, será que ela é ruim? Será que não é bom sentir dor? Por que sentimos dor? Quais são as formas de minimizar esta sensação? Será possível suprimi-la? De que forma?

Em *"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"* discutiremos a sensação de dor, para tal relacionaremos os diversos estímulos que causam a sensação de dor com as substâncias que são liberadas no local onde ele foi aplicado. Por outro lado, também discutiremos como o

cérebro controla a sensação de dor, liberando substâncias que agem como analgésicos endógenos.

Para controlar a dor nós podemos ingerir analgésicos, tais como a aspirina que tem ação local e que, portanto, interage com as substâncias que são liberadas no local onde foi aplicado o estímulo. Mas, existem substâncias que agem como analgésicos gerais, tais como os compostos que o cérebro libera para controlar a dor.

- **Sensações de tato**

Sabemos que existe uma grande diferença entre um carinho e um tapa! Isto ocorre, porque o carinho, por exemplo, geralmente, desencadeia uma sensação agradável de prazer. Por outro lado, um tapa, se for intenso, pode causar dor! Então, como sentimos o tato? Esta sensação está relacionada com a dor?

Nossa pele contém muitos receptores sensoriais, que são utilizados para podermos identificar as sensações de dor, temperatura e, principalmente, as de tato. É através dos receptores sensíveis ao tato, que percebemos um carinho, um abraço, um beijo ou um tapa. Para se ter uma idéia, o sentido do tato é tão preciso, que somos capazes de identificar o local, a duração, a pressão, a textura, e a forma do estímulo que o causa.

Qualquer toque exercido sobre a pele, ativa os mecanorreceptores daquele local. Isto porque há uma diferença de pressão no local, o que faz estes receptores emitirem respostas que são enviadas para o sistema nervoso central, de forma muito precisa.[4-6]

No entanto, os estímulos para a sensação de tato não são explicados por conceitos da química, por isto, não discutiremos esta sensação neste material.

- **Sensações de som**

Além da visão, olfato, paladar e tato, também existe um outro sentido o da audição! O que é o som? Como eles estimulam os receptores do ouvido? Como podemos ouvir sons tão diversos? O som, como qualquer outra sensação, não é sentido da mesma forma por todos, pois é individual e único.

Existem diferentes sons que estão espalhados pelo ambiente, como o de uma música, de uma campainha, de uma explosão, de um apito, de um trovão, de uma voz, dentre muitos outros. O que os diferenciam?

Os sons podem ser diferenciados em tonalidade, timbre, volume e localização espacial. Comumente, ouvimos sons no ar, mas também podemos ouvi-los na água, em outros meios, então, podemos perceber que o meio pelo qual o som se propaga interfere nestas características. Aliás, o meio é fundamental para haver o som, pois são as moléculas que o formam, que irão transportar as vibrações das ondas, que posteriormente entrarão no sistema auditivo.[12-14]

Portanto, o som se propaga na forma de ondas em um determinado meio, mas estas ondas não são eletromagnéticas, como a luz, mas sim senoidais, que são produzidas através da vibração, do atrito, da energia mecânica sobre moléculas pelas quais se propagam.[15]

As ondas senoidais que chegam aos nossos ouvidos na forma de som, não são puras, ou seja, não possuem freqüências ou comprimentos de onda bem definidos. Na realidade, elas são uma mistura de várias ondas senoidais. Nossos ouvidos fazem uma decomposição desta onda complexa em ondas simples, e enviam esta mensagem ao encéfalo, que as interpreta, recompondo-as e formando as sensações sonoras. Além disso, os neurônios do encéfalo ainda juntam estas sensações a imagens, idéias e sentimentos e memórias formando as percepções.[13,14]

A percepção auditiva, mais que as outras, varia muito ao longo da vida e de populações para populações. Por exemplo, uma música, pode ser muito apreciada numa determinada cultura e rejeitada em outra. Além disso, uma pessoa pode ouvir uma música e adorar em uma época da sua vida, e achar totalmente sem sentido ouvi-la em outra. Isto porque, uma pessoa passa por diferentes estados fisiológicos, psicológicos e de desenvolvimento ao longo da sua vida, até mesmo ao longo de um único dia. Estes diferentes estados modificam as informações que chegam até o encéfalo, o que provoca as percepções diferentes.[4]

A capacidade auditiva também varia conforme a idade, tanto que com o envelhecimento, vai se perdendo a capacidade de ouvir; por outro lado, pode se ganhar mais compreensão do que se está ouvindo, de acordo com o maior número de experiências que uma pessoa têm e com as influências ambientais que fora submetido.

Como as ondas senoidais interagem com o meio em que se propaga de uma forma física, os conceitos da química não são utilizados para explicar esta sensação. Por isto, neste material, esta sensação não será discutida em nenhum capítulo, somente aqui como forma de introdução ao seu entendimento.

- **Sensações emocionais**

Todas as sensações são integradas em nosso cérebro! Por isto, dificilmente temos uma única sensação, pois elas estão automaticamente se transformando em percepções, ou seja, estão sendo integradas como algo único! As percepções do ambiente que nos cerca estão cheias de emoções. Por exemplo, ao olhar para uma pessoa, podemos sentir alegria, prazer, felicidade, mas também podemos sentir raiva, ódio, descontentamento!

Então, o que é a emoção? Como podemos entendê-las? Como elas podem ser alteradas? Quem as desencadeia? Quais são seus estímulos? As sensações emocionais são muito complexas, pois não existe um estímulo exato que as desencadeia. Por outro lado, elas podem ser alteradas pela ingestão de substâncias psicoativas, tais como o álcool, o LSD (ácido lisérgico), a cocaína, o THC (Δ^9 – tetrahidrocanabinol), dentre outras. Explicaremos melhor as emoções e o funcionamento do cérebro nos capítulos *"Neuroquímica e Sensações"* e *"Sensações Emocionais e Drogas"*.

- **Considerações finais**

Este capítulo apresenta as questões que serão abordadas nos posteriores a ele. Então, na realidade ele é uma espécie de introdução do material *"Química das Sensações"*, onde começamos a discutir o que é sensação e percepção, quais são os seus diversos tipos e qual a contribuição da química para explicá-las.

Conforme mencionamos, no decorrer do material abordaremos, de forma interdisciplinar, as sensações de visão, de frio e calor, de sabor, odor e as emoções, onde podemos inserir conceitos da química. No entanto, não abordaremos as sensações de tato e de audição, devido à ausência, pelo menos com o que se conhece até agora, de conceitos da química que ajudem a explicá-las.

CAPÍTULO 2

"Visão, Luz e Cores"

"O cérebro constrói uma representação
coerente do mundo,
ainda que ela seja virtual"
Jean-Pierre Changeux[1]

O que é cor? Esta questão é aparentemente simples, já que atribuímos cores aos objetos, aos materiais, às pessoas e a todos os outros elementos da natureza que nos rodeia. Assim, por exemplo, se nos perguntarem qual é a cor do nosso cabelo, poderemos responder: castanho, castanho-claro, loiro, branco, grisalho, ruivo ou preto; ainda, se os tingirmos, poderemos responder: chocolate, vermelho intenso, roxo, rosa-choque, laranja, verde-limão ou azul.

Da mesma forma, se nos perguntarem qual é a cor dos nossos olhos, as respostas seriam semelhantes: verdes, azuis, preto, castanho, acinzentado; ou poderemos responder que ela muda, dependendo da hora do dia, ou do estado emocional, como no choro. Nossa pele também pode ser descrita por cores, inclusive a cor atribuída a ela é utilizada, muitas vezes, para discriminar nossa "raça", classificando-nos em negros, brancos, amarelos, pardos, arianos, albinos e assim por diante.

Podemos dizer, então, que somos coloridos! Não só nós, mas todos os outros seres vivos, como os animais ou vegetais. A natureza nos presenteou com milhares de cores! Frutas, legumes, verduras, flores, árvores, algas, insetos, répteis, mamíferos, pássaros, assim como a terra, o sol, o mar e o céu, são coloridos. As cores fazem parte da nossa vida e estão presentes em tudo que nos rodeia!

Ao observarmos a natureza podemos reparar que as cores não são fixas, mas estão em constante mudança! Por exemplo, uma pessoa branca pode ficar vermelha ou bronzeada quando exposta ao sol. Para uma fruta, sua cor está relacionada com seu amadurecimento, tal como uma manga, um mamão ou uma laranja, que antes de amadurecer é verde, quando está "no ponto" é amarelada, alaranjada, avermelhada, ou possuem estas cores misturadas, mas que quando apodrecem poderão tornar-se marrom.

Assim como cada parte do nosso corpo pode ser descrita por cores, o mesmo é observado para os outros animais. Certos pássaros possuem cores "berrantes" como araras, tucanos e pavões. Outros animais são mais discretos ou preferem se camuflar, como muitos insetos. Além disso, existem os animais que não possuem cores fixas, como o camaleão, que muda de cor para se proteger, dependendo do ambiente em que se encontra.

Os elementos da natureza como o céu, o mar ou a terra, também possuem lindas cores que estão em constante mudança, dependendo da sua posição geográfica, das condições climáticas, das estações do ano, do horário e do local de observação. O céu, por exemplo, para o qual, freqüentemente, atribuímos a cor azul, na realidade possui diversas cores, e nós sabemos disso. Um dia ensolarado é diferente de um dia chuvoso! Uma noite estrelada com lua cheia é diferente de uma noite cheia de nuvens onde a lua mal aparece! Nuvens, estrelas, cometas, eclipses, arco-íris, sol e lua fazem com que o céu não seja somente azul, mas rico em diversas e belas cores.

Porém, não observamos somente as cores da natureza, mas também as que os homens foram capazes de criar! Muitas vezes, "copiando" a natureza, o homem foi capaz de desenvolver substâncias que conferem cor a alimentos, medicamentos, cosméticos, tecidos, papéis, plásticos, cerâmicas, móveis, aparelhos eletrônicos, carros, casas, assim como todas as suas outras criações...

Utilizando substâncias extraídas da natureza e desenvolvidas pelos homens é que pintores, escultores, desenhistas podem utilizar a imaginação e expressar seus sentimentos, suas idéias, sua interpretação da natureza e do mundo, na arte. Além da arte, as cores criadas pelo homem também são utilizadas para chamar atenção! Para ditar moda! Para fazer propaganda!

O nosso mundo é colorido com cores naturais e artificiais! E assim, como as cores da natureza, as criadas pelo homem também estão em constante mudança. Por exemplo, um pedaço de tecido pode ser tingido, mas também pode desbotar, se este tecido for lavado muitas vezes ou se ficar continuamente exposto ao sol. Mesmo um tecido que tenha sido tingido de maneira uniforme por uma mesma substância, ao colocá-lo em um corpo, podemos observar que não há uma uniformidade na cor! Existem pontos de diferentes cores, de acordo com a forma que o corpo dá ao tecido.

Ou ainda, muitas vezes, acontece de entrarmos numa loja e comprarmos uma roupa com uma determinada cor e ao usarmos, em outra ocasião, termos a impressão de que sua cor modificou. Isto acontece, freqüentemente, porque a cor está relacionada com as variações da luz do ambiente onde nos encontramos. Assim, a luz emitida por uma lâmpada pode ser diferente da emitida por outra, ou ainda, diferente da emitida pelo sol. Por isto, de acordo com a fonte, quantidade e intensidade da luz que é emitida, a cor da roupa poderá variar.

Se a cor está relacionada com a luz, poderíamos perguntar qual é a cor dos objetos quando não há luz, como no escuro? A resposta correta seria: nenhuma! No escuro não existe cor! Isto poderia nos confundir, poderíamos nos perguntar: se não existe cor no escuro, uma roupa deixa de ser colorida? Qual é a cor dos nossos olhos? Qual é a cor de uma manga? De um camaleão? O que acontece com a substância colocada na roupa que a torna colorida na presença de luz e sem cor no escuro? A cor de uma pessoa branca é a mesma que a de uma negra no escuro?

No escuro não há cor! Assim uma pessoa não é branca ou negra, uma fruta também não é verde ou amarela; um animal ou qualquer outro objeto não pode ser descrito por cores no escuro! Isto quer dizer que as cores não são características dos materiais, das pessoas, dos objetos, ou dos seres da natureza! Pois, não existe a cor sem a luz!

Poderíamos nos questionar: a cor é uma característica da luz? Por que, então, é que a luz emitida pelo sol ou por uma lâmpada, aparentemente, não tem cor nenhuma? Por que durante o dia existem cores e no escuro não existem? Uma molécula não tem cor? A natureza não é colorida? O homem não criou nenhuma cor?

Não enxergamos a luz emitida pelo sol, pois ela é, aparentemente, transparente. Porém somos capazes de enxergar o produto da sua interação com a matéria, que pode ser a cor, sombra ou até mesmo, forma.

Determinadas substâncias são enxergadas como coloridas porque são capazes de absorver e de refletir diferentes quantidades de luz de uma determinada faixa de energia. Dependendo da quantidade de energia que é absorvida e de determinadas características das moléculas que constituem a substância, elas podem ser enxergadas como coloridas ou não.

Portanto, a cor não é "somente" um fruto da interação da luz com a matéria presente na natureza ou criada pelo homem. O produto desta interação é a reflexão de luz de uma

determinada faixa de energia, mas para a cor existir, a luz refletida pela molécula tem que interagir com o nosso sistema visual.

Só existe cor porque possuímos um sistema visual apropriado para detectar uma determinada faixa de energia da luz. Aliás, determinados animais não são capazes de enxergar na mesma faixa que nós. E existem seres humanos que não enxergam e outros que também não enxergam cores.

Para os animais que enxergam na faixa de diferentes quantidades energia, o mundo percebido por eles é diferente, em comparação ao mundo que percebemos. Para as pessoas cegas, o mundo pode ser interpretado como uma "escuridão" e para os daltônicos, as cores são percebidas de forma diferente. A cor, portanto, é pessoal e subjetiva, não é uma propriedade de determinadas moléculas ou da luz.

As moléculas do ambiente agem como refletoras da luz que interage com elas. A porção da luz que é refletida entra no olho, que por sua vez está conectado com o cérebro, formando o sistema visual. É no cérebro que a cor é constituída, portanto ela é um construto mental, uma sensação![1-4]

Isaac Newton (1642-1727), que estudou, dentre tantas outras coisas, a propagação da luz, a formação das cores e a separação de cores por um prisma disse:

"Os raios de luz não são coloridos. Neles nada mais existe do que energia para despertar no observador uma sensação desta ou daquela cor"[5]

Não só a cor, mas tudo o que vemos não passam de sensações! Por exemplo, ao olhar para o céu, e observar o sol, as estrelas ou a lua, estes imensos astros parecem pequenos. Porém, sabemos que eles estão muito distantes da nossa posição, por isto, por exemplo, que o sol parece ser menor que a Terra. Imaginamos que a lua e o sol são esféricos, porque os enxergamos desta forma. Enxergamos estrelas que nem existem mais, mas acreditamos que elas estão lá, pois podemos vê-las. Na verdade, temos a percepção de enxergá-las, de que o sol é esférico, ou ainda, de que é menor que a terra. Ao observar que o sol nasce de um lado do céu e que se põe em outro, também podemos ter a sensação de que ele está se movimentando, mas na realidade sabemos que é a Terra que está se movimentando.

Inclusive, isto já foi alvo de muita "confusão" no decorrer da história. O homem parece ter sempre se preocupado com o movimento dos astros e desde a antiguidade, devido ao modelo de Aristóteles (século III a.C.) até o início da Idade Moderna, acreditavam que a Terra era o centro do universo e que o sol se movia ao redor dela. Isto é condizente com o que enxergamos! Até mesmo existe na Bíblia uma passagem que confirma este modelo onde está escrito que Deus fez parar o sol para que seu povo continuasse a luta enquanto ainda havia luz, o que sugere que o sol se movimenta e que a Terra está parada.[6-8]

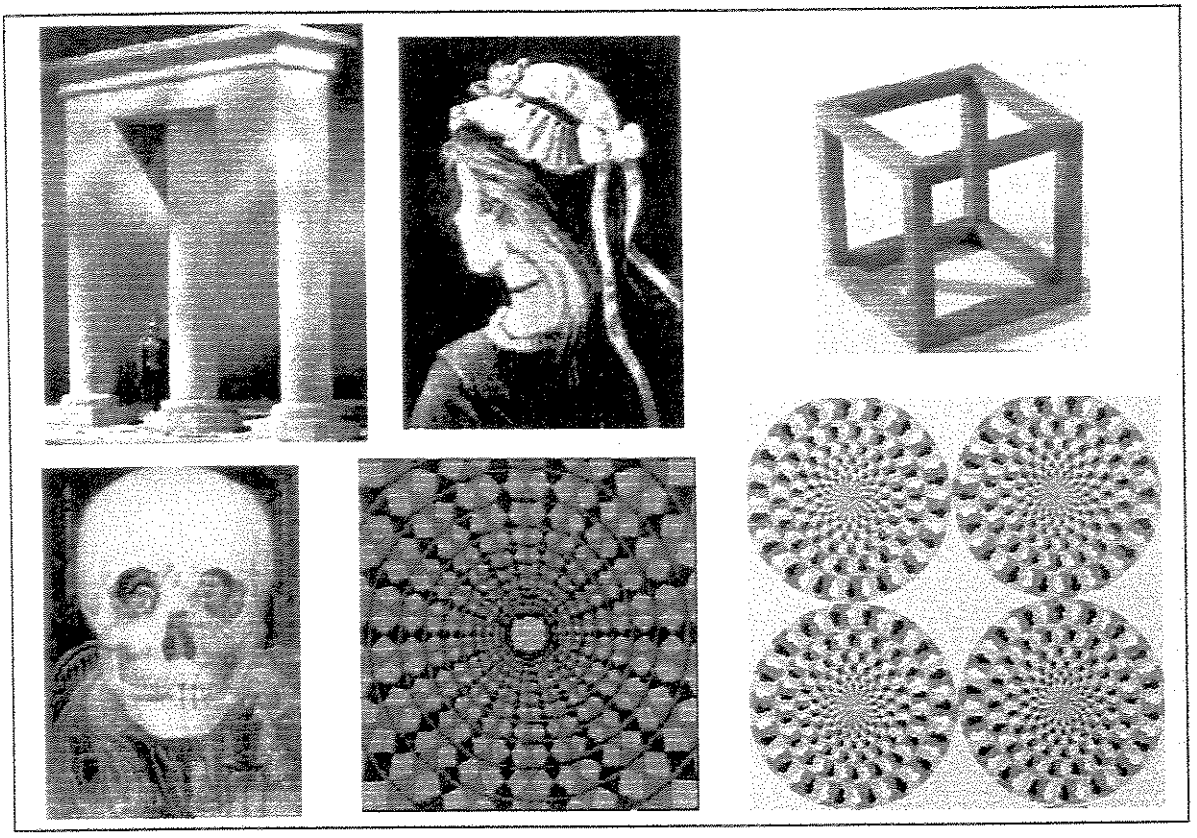
No século XVI, Copérnico (1473-1543) publicou uma obra em que propôs a teoria heliocêntrica, ou melhor, propõe que a Terra se movimenta ao redor do sol. No entanto, esta teoria foi proposta como simples hipótese, talvez devido à inquisição, por isto teve pouca repercussão e foi, praticamente, ignorada até o início do século XVII, quando ressurge através de Galileu (1564-1642).[6-8]

Com a invenção do telescópio, Galileu conseguiu fazer descobertas valiosas para a época tais como: que deveriam existir infindáveis mundos, que a superfície da lua era rugosa e irregular e que o sol tinha manchas. Isto só foi possível porque foi inventado um instrumento mais poderoso que o olho humano, que poderia fazê-lo enxergar mais detalhes, numa distância maior. Imagine, se não fosse inventado o telescópio até hoje, talvez, estaríamos acreditando que o sol gira em torno da Terra, que está parada, ou que o universo é finito! Para se ter uma idéia, estas descobertas causaram tantas controvérsias que Galileu viu-se obrigado a renunciar para não morrer queimado nas fogueiras da santa inquisição.[6-8]

Isto nos leva a crer que nossos olhos podem nos enganar! Às vezes, o que parece estar longe pode estar perto, o que parece existir pode não estar ali, o que parece se movimentar pode na realidade está parado... Observe a figura 1.

Quantas colunas à esquerda? A mulher representada no meio é uma senhora idosa ou uma moça? Será que é possível construir o cubo à direita? A segunda figura à esquerda é uma caveira ou duas mulheres conversando? Esta figura do meio não parece um espiral? Não parece que as rodas da figura à direita estão se movimentando? Seria possível algo se movimentar no papel?

Figura 1 – Algumas ilusões de óptica.



Isto mostra que a visão pode nos trazer ilusões! Isto porque tudo o que achamos que vemos só existe no nosso cérebro! Uma prova disto é que determinadas pessoas, devido a algum distúrbio psicológico, convulsões, outras doenças ou ao uso de determinadas drogas de abuso podem ter alucinações, enxergar o que não existe, o que não está lá!

Os elementos da natureza e as criações do homem possuem cores, formas, brilhos, tamanhos e texturas, estão localizadas num determinado local no espaço e muitas vezes se movem numa determinada direção. Nosso sistema visual está preparado para detectar isto! Na realidade, nossos olhos detectam as variações de luz do ambiente, enviam mensagens para o cérebro que as decodificam como sensações, que são bases para formar as percepções.[1-3]

Assim, a luz, com determinada quantidade de energia, refletida pelas moléculas presentes no ambiente, serve como um estímulo. Este é captado por receptores de luz, os fotorreceptores, que estão presentes no olho, o órgão do sentido da visão. Desta forma, os

estímulos luminosos que estão na frente dos nossos olhos são transformados pelos fotorreceptores em uma imagem, que é transformada em sinais, que são enviados para os neurônios do olho, que, por sua vez, se comunicam com os do cérebro.[9-15]

No entanto, não temos uma única sensação de cor, mas várias, e estas estão associadas aos elementos da natureza ou aos criados pelo homem, que estão inseridos numa cena visual. Se esta cena visual não tiver nenhum significado pessoal, se não for ligada às emoções ou experiências passadas, poderá não ser lembrada posteriormente.

A sensação e a percepção dependem do indivíduo! Portanto, não podemos quantificá-las e também não temos como saber se uma pessoa tem a mesma sensação que a outra. Por exemplo, ao observar um objeto qualquer, uma pessoa pode ter uma percepção de cor, mas isto não significa que outra pessoa tem a mesma, apesar das duas nomearem a cor do objeto do mesmo modo. Como a cor só existe no cérebro, e como ele é único para cada um, cada qual a interpreta do seu modo, apesar de, culturalmente, aprendermos a nomeá-la de um mesmo. Nunca saberemos se a cor que uma pessoa enxerga é a mesma que a outra!

Além disso, as percepções de cores podem variar de populações para populações. Além de depender dos olhos e do cérebro de cada um, também dependem da idade, da cultura e do trabalho. A linguagem também influencia muito na discriminação de cores; por exemplo, um pintor pode distinguir muito mais cores do que uma outra pessoa que não trabalha com artes plásticas.[16]

Existem populações inteiras que por motivos de mutações genéticas não conseguem distinguir as sensações de verde das de azul e usam o mesmo nome para discriminar ambas. Estas pessoas, freqüentemente, vivem em regiões tropicais e equatoriais, aonde a quantidade de luz que chega até a superfície é maior. Seus olhos desenvolveram substâncias especiais que os defendem da luz de maior energia. Por isto, mesmo com estímulos diferentes, as sensações são similares![16]

Pode acontecer também de os neurônios responsáveis por transformar em sensações os estímulos enviados pelos fotorreceptores, não estarem funcionando ou estarem ausentes. Existe uma síndrome rara chamada de acromatopsia, onde há a perda parcial ou completa da visão em cores, apesar dos fotorreceptores estarem funcionando normalmente. As

pessoas que têm esta síndrome também têm dificuldades de perceber as formas dos objetos, pois estas podem ser diferenciadas pelos contrastes de cores.[11]

Todas as sensações visuais são incrivelmente importantes para nós, não somente para podermos ver cores e contemplar as belezas da natureza e das criações do homem, mas para a nossa proteção e interação com o ambiente. A visão é extremamente importante para facilitar nossa sobrevivência e em nossa vida social.

É a partir da visão que podemos detectar perigos, se proteger, ler, ou até mesmo se apaixonar "pelas aparências" e, assim, escolher parceiros. Não que isto não seja possível quando o indivíduo não tem este sentido, por exemplo, um deficiente visual pode muito bem ler e se apaixonar, mas, para isto, utiliza outros sentidos.

No entanto, não conseguimos identificar todos os detalhes de uma única cena visual, mas sim aqueles que nos chamam mais atenção, que nos fazem lembrar algo, que alteram nossas emoções ou que nos fazem pensar. A partir do que já conhecemos podemos sonhar, imaginar coisas que não existem, fantasiar ou criar ilusões.

Mas, como será que funciona a visão? Quais são os estímulos captados pelos fotorreceptores? O que existe nas substâncias que compõem os objetos que nos causam uma sensação de cor? Qual a característica destes materiais? Estas e outras questões serão discutidas a seguir.

- **Estímulos e formação de sensações visuais**

A energia é definida como a capacidade de realizar trabalho. Ela não é uma substância, não é visível ou invisível, mas é uma medida de transformação, que pode ser aplicada à luz, mas também ao movimento, ao som, ao magnetismo, às reações químicas, enfim, a qualquer processo que envolva alguma mudança. Por isto, é importante lembrar que ela não se perde, não se cria, mas está em constante transformação. Assim, quando a luz interage com as moléculas, seja com as que estão no olho, ou com as que estão no ambiente, a sua energia é transformada, para ser utilizada de outra forma. Tudo o que percebemos e até mesmo o que é invisível aos nossos olhos é devido, de alguma forma, a uma transformação.[17-20]

A energia da luz é transmitida para os fotorreceptores, que por sua vez a transmitem para os neurônios do cérebro. Assim, ambiente e organismo interagem transformando a energia. Os estímulos são transformados em impulsos nervosos, que nada mais são do que uma outra forma de energia, a eletroquímica. Graças a estas constantes transformações é que podemos ver, sentir, pensar, perceber e interagir com o ambiente.

Além de possuir energia, a luz também possui caráter de onda e de partícula, sendo que a partícula da luz é denominada de fóton. Os fotorreceptores são extremamente eficientes, sendo capazes de reconhecer até um único fóton. Porém, não é qualquer fóton que eles reconhecem, porque para reconhecê-lo ele tem que ter uma certa quantidade de energia bem definida.[19]

A quantidade de energia presente na luz é proporcional ao número de fótons que ela contém, mas é inversamente proporcional ao comprimento da onda. Como cada onda tem um comprimento específico e a ela está associado um número de fótons, só existem certas quantidades definidas de energia, portanto ela é quantizada. A variação de energia de um feixe de luz pode ser calculada através da expressão:[17-19]

$$E = nhc/\lambda = nh\nu$$

Onde E = energia (Joules, elétrons- volt); n = número de fótons; h = constante de Planck = $6{,}6.10^{-34}$ Joules.segundo ou $4{,}1.10^{-15}$ elétrons-volt.segundo; λ = comprimento de onda (metros); ν = freqüência (segundo^{-1} ou Hertz).

Por esta equação observamos que quanto maior o número fótons, maior é a energia associada à luz, e maior é a amplitude da onda. Nós percebemos esta variação como sensação de brilho; assim, quanto maior o número de fótons de uma determinada fonte de luz mais brilhante ela nos parece.[9]

As ondas da luz são eletromagnéticas e se propagam em linha reta em qualquer meio, tais como vácuo, ar, sólido ou líquido. Mas, quando passam de um meio para outro, sua velocidade pode variar, no entanto, outras propriedades, como o comprimento de onda, podem ou não variar, dependendo do tipo de interação que ocorre entre onda e o meio.[18,21]

Quando a onda da luz passa de um meio para outro e sua velocidade varia, há também uma variação de freqüência, já que esta é inversamente proporcional ao tempo. Portanto, o comprimento de onda está relacionado com a velocidade e com a freqüência, o que pode ser observado na seguinte expressão:[18,19,21]

$$\nu = c/\lambda$$

Onde c = velocidade da luz (metros.segundo^{-1}).

Como existem ondas eletromagnéticas de diversos comprimentos, podendo variar de, aproximadamente, *1* até 10^{-14} metros, e cada uma delas pode interagir de diferentes modos com a matéria, estas ondas foram classificadas e tabeladas, de acordo com a variação dos seus comprimentos, no chamado espectro eletromagnético. Este amplo espectro tem ondas de diversas energias, mas nossos olhos somente são capazes de identificar as que possuem comprimentos que variam de *400* até $700.\ 10^{-9}$ metros; por isto, esta faixa foi denominada de visível. No vácuo, a luz se propaga com uma velocidade de 3.10^{8} *m/s*, e no ar, podemos dizer que ela se propaga, aproximadamente, com a mesma velocidade, portanto as freqüências de onda que podemos enxergar estão na faixa de $7,5.10^{14}$ a $4,3.10^{14}$ *Hz* vezes o número de fótons que a luz contém.[17-19,21]

Qualquer variação no comprimento de onda faz com que a energia da luz visível seja detectada pelos fotorreceptores de uma maneira diferente e, conseqüentemente, as mensagens enviadas por eles ao cérebro também serão diferentes. Por isto, para cada comprimento de onda da região do visível, está associada uma cor, tal como pode ser observado na figura **2**.[9-11, 17-19]

Figura 2- Representação do espectro eletromagnético da região do visível.

Podemos perceber, aproximadamente, 10 milhões de cores, que variam em tonalidade e brilho, ou melhor, percebemos as combinações entre ondas eletromagnéticas, que possuem diferentes comprimentos e amplitudes, com as quais estão associados diferentes números de fótons. As diferenças de tonalidade, isto é, de comprimentos de ondas, são importantes para formarmos os contrastes das imagens que somos capazes de enxergar, o que facilita nossa percepção de formas e texturas.[9-11]

Apesar de não sermos capazes de enxergar à radiação da região do ultravioleta e do infravermelho podemos senti-las de outras formas. Por exemplo, a radiação da região do ultravioleta possui comprimentos de ondas menores que *400 nm* indo até, aproximadamente, *100 nm*. A radiação desta região possui comprimentos de onda menores que a da região do visível, portanto estas ondas possuem fótons de maior energia. Como os nossos fotorreceptores não são capazes de detectar a energia desta região, esta radiação não causa sensação de cor. No entanto, alguns insetos como as abelhas e as formigas, conseguem detectar os comprimentos de onda desta radiação, ou seja, eles "enxergam no ultravioleta".[9] Por outro lado, podemos sentir esta radiação, já que ela é a responsável por causar o bronzeamento da pele.[22]

A região com comprimentos de onda maiores que *700 nm* é chamada de infravermelho e vai até, aproximadamente, *50.000 nm*. Os fótons desta região são menos energéticos do que os da região do visível e do ultravioleta. Nosso sistema visual também não é capaz de detectar os comprimentos de onda da radiação do infravermelho, mas a sentimos como calor*.[23]

Nosso sistema visual evoluiu para que pudéssemos ver o mundo através da radiação emitida pelo sol que chega até a superfície terrestre. O sol emite grande parte da radiação do espectro eletromagnético, porém nem todas elas chegam até a superfície da Terra. A radiação mais energética é absorvida pelas camadas superiores da atmosfera, principalmente, pela camada de ozônio. À parte que não é filtrada e que, portanto, chega até a superfície compreende a radiação da região do visível, uma parte do ultravioleta e uma parte do infravermelho. A radiação do ultravioleta deveria ser filtrada, pois como possui muita energia é nociva para nós, para outros animais e, principalmente, para as plantas, pois destrói os tecidos vivos. Com a poluição, a camada de ozônio está ficando mais rarefeita e,

---

* Ver *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"* página 112.

conseqüentemente, seu poder de filtrar esta radiação está diminuindo, por isto os comprimentos de onda da região do ultravioleta estão chegando até a superfície terrestre com maior facilidade*.[22-24]

Da região do ultravioleta, as ondas de comprimentos que variam entre *290* a *400 nm* estão conseguindo chegar até a superfície da Terra. Mas, as de *290* a *320 nm* nos atingem em quantidades muito pequenas, contudo são responsáveis pela vermelhidão da pele associada às queimaduras solares e vários tipos de cânceres de pele. As radiações de *320* a *400 nm* são menos energéticas e, portanto, menos prejudiciais. Inclusive o nosso sistema visual é capaz de detectá-las em boates, pois são elas as "luzes negras".[22]

Também não são todos os comprimentos de onda do infravermelho que chegam até a superfície da Terra, pois a atmosfera absorve a maior parte desta radiação. No entanto, a radiação do infravermelho é fundamental para existir vida na Terra, pois parte da radiação da região do infravermelho que é emitida pelo sol é filtrada por moléculas de água, dióxido de carbono, metano, dentre outros gases; à parte que não é absorvida é refletida para a Terra e para o espaço. As moléculas presentes na superfície da Terra, por sua vez, irradiam a radiação que nela incidem de volta para o espaço; desta forma, a temperatura da Terra não é tão extrema como as de outros planetas ou satélites que não possuem atmosfera. Como resultado, de toda a radiação emitida pelo sol, chega até nos as ondas com comprimentos que vão de *290* até aproximadamente *2.500 nm*, além das ondas com comprimentos de *0,01* á *40* metros, que são denominadas de ondas de rádio**, por terem longos comprimentos de onda.[22,23]

Nosso sistema visual é somente capaz de detectar comprimentos de onda da região visível. Mas, não enxergamos a luz que é emitida pelo sol e que chega a superfície como colorida, pois ela nos é transparente. Isto ocorre porque quando as ondas de todos os comprimentos da região do visível estão misturadas, o nosso sistema visual não identifica nenhuma cor. Porém, se a radiação de algum comprimento de onda da luz visível for removida, deste somatório, nosso sistema visual pode detectar o resultado, formando no cérebro as sensações de cor.[4,9-11,19,25]

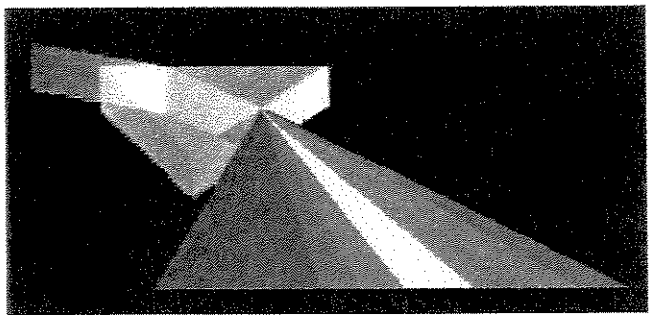
---

* Ver *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"*, página 104.

** Não são as ondas de rádio que chegam até a atmosfera que são decodificadas pelos receptores dos nossos ouvidos como som, elas somente são denominadas assim porque possuem longos comprimentos de onda. Na realidade, as ondas que são decodificadas como som não são eletromagnéticas, mas sim senoidais. Ver *"Sensações: Porta de Entrada das Informações do Mundo para a Mente"*, página 28.

Além disso, a luz emitida pelo sol pode causar a sensação de ser colorida quando decomposta, como, por exemplo, quando passa por um prisma, conforme ilustrado na figura 3.[4,21]

Figura 3- Decomposição da luz da região do visível em seus comprimentos de onda.



O arco-íris também é uma prova de que a luz emitida pelo sol que chega até a superfície possui todos os comprimentos de onda da região do visível misturados, sendo um fenômeno natural de separação dos seus comprimentos de onda. Quando ele aparece, temos a sensação de ver várias cores no céu e que vão exatamente do vermelho até o violeta, sendo que ele somente é observado em dias que chove e faz sol ao mesmo tempo.[4,21,26]

Neste caso, as gotas de água da chuva funcionam como um prisma, separando a energia do sol em seus comprimentos de onda. Isto ocorre porque cada vez que a luz passa do ar para a água, ou vice-versa, o raio da luz sofre uma refração (penetra no material) e se desvia, já que a luz se propaga em linha reta. Como cada gota tem uma forma, aproximadamente, esférica, o raio de luz sairá da gota de água formando, neste caso, um ângulo com um valor em torno de 42° em relação à direção dos raios proveniente do sol. O arco-íris que enxergamos corresponte, assim, a um conjunto de gotas que estão num arco de cerca de 42°.[4,21]

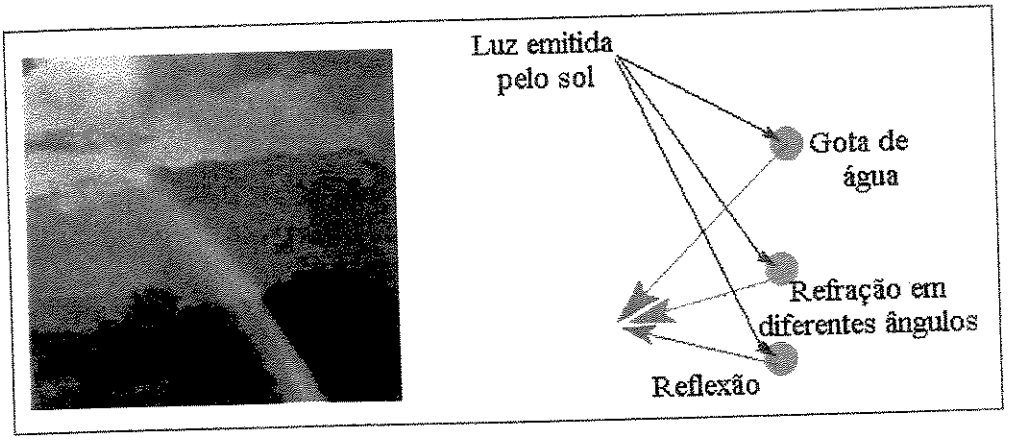
Todas as outras gotas de água do ar também refletem luz a aproximadamente 42°, então por que será que não enxergamos um arco-íris permanente no céu em lugares onde a umidade do ar é grande? Isto ocorre porque a Terra está sempre se movimentando, o que modifica a forma como os raios emitidos pelo sol chega até sua atmosfera. Por isto, uma pessoa que esteja numa posição diferente poderá enxergar os raios refletidos por essas

gotículas de água de forma diferente.[4,21] Mas isto não explica como surgem as cores que vemos ao observar um arco-íris, então, como este fenômeno é explicado?

As cores que enxergamos ao observar um arco-íris surgem devido à refração dos diferentes comprimentos de onda da luz emitida pelo sol que chega até a gota de água na atmosfera. Cada componente desta luz, ou seja, cada comprimento de onda da luz visível, é refratado com um ângulo diferente quando passa de um meio a outro, neste caso, quando passa da água para o ar. O ângulo de 42° corresponde à refração das ondas de maiores comprimentos (que nos causam a sensação de cor vermelha), já as ondas com comprimentos pequenos (como no caso das que nos causam as sensações de cor violeta ou azul) são refratados com um ângulo de, aproximadamente, 40°, as outras ondas são refratadas em ângulos intermediários entre estes dois valores, formando assim todo espectro eletromagnético no céu.[4]

A luz é então desviada (refratada) para depois ser refletida até chegar nos nossos olhos. Desta forma as gotas de água separam a luz emitida pelo sol em seus diversos comprimentos de onda, como se ela fosse um prisma, conforme podemos observar na figura 4.

Figura 4- Representação do arco-íris e de um esquema que ilustra a refração e a reflexão da luz emitida pelo sol, separando-a em diferentes comprimentos de onda.



A partir desta explicação, poderíamos nos perguntar: por que o céu é azul durante o dia, em determinadas condições climáticas? Por que possui tons avermelhados durante o

pôr do sol? A sensação de azul do céu é devida ao fato da luz com os menores comprimentos de onda do espectro da região do visível ser a única que pode ser absorvida e refletida pelas minúsculas moléculas que compõem o ar presentes na atmosfera, sendo assim espalhadas em todas as direções. O pôr do sol é mais avermelhado, porque durante este momento, a luz solar atravessa a atmosfera em uma distância maior, com isso, a luz azul é espalhada tão eficientemente que não é vista, sobrando apenas porções mais avermelhadas do espectro, que são as que possuem menor energia, que, por isto, são menos espalhadas.[26]

Por estes exemplos, podemos perceber que só somos capazes de enxergar os comprimentos de onda da região do visível que são refletidos! Portanto, as moléculas que causam uma sensação de cor também agem absorvendo e refletindo alguns comprimentos de onda da região do visível. No entanto, sabemos que não são todas as moléculas que refletem a luz desta região. Então, quais serão as moléculas que absorvem parte da radiação do visível, refletindo assim o que não foi absorvido? Para que esta energia é utilizada? O que elas têm em comum? Quais são as características destas moléculas?

Quando a luz é absorvida pelas moléculas, sua energia é utilizada para que elétrons realizem transições eletrônicas. A energia total de uma molécula é a soma de três tipos de energia: vibracional, rotacional e eletrônica. Sendo que a energia eletrônica é muito maior que a vibracional, que por sua vez é maior que a rotacional ($E_{eletrônica} > E_{vibracional} > E_{rotacional}$).[17-19]

Como todos estes estados de energia são quantizados, quando a luz emitida pelo sol que chega até a superfície (ou a emitida por uma lâmpada) é absorvida pela molécula, a energia da radiação de comprimentos de onda do infravermelho pode ser utilizada para aumentar a amplitude dos movimentos de vibração e de rotação. Porém, a luz com comprimentos de onda do visível e do ultravioleta, podem fazer com que os elétrons realizem transições eletrônicas, ou seja, sejam excitados do estado fundamental para um estado de maior energia, o excitado. Se uma molécula absorver uma parte da luz com energia da região do visível, ela será percebida como colorida.[17-19, 27, 28]

Segundo a teoria do orbital molecular, para cada um dos orbitais moleculares está associada uma energia e os elétrons estarão distribuídos neles de acordo com o princípio de

Pauli* e a regra de Hund**, ou seja, numa molécula, são os orbitais de menor energia que estão preenchidos. Desta forma, os orbitais moleculares ligantes e/ou não-ligantes seriam preenchidos primeiro que os orbitais antiligantes, que, geralmente, permanecem vazios no estado fundamental.[17-19,27-29]

Porém, quando a luz interage com a molécula, sua energia pode ser absorvida, e os elétrons dos orbitais moleculares ligantes e/ou não-ligantes podem ser deslocados para os antiligantes. Para cada transição eletrônica está associada uma certa quantidade de energia. Portanto, quanto maior a diferença de energia entre os orbitais moleculares que estão preenchidos e os que estão vazios, menor será o comprimento de onda da luz absorvida, ou seja, mais próximo do ultravioleta ele estará. Como conseqüência, menor é a probabilidade da molécula absorver uma parte da luz da região do visível e causar, quando refletir o que não for absorvido, uma sensação de cor.[17-19, 27-29]

Por exemplo, para ocorrer uma transição entre os orbitais π-ligante e π-antiligante ($\pi \rightarrow \pi^*$), dependo da molécula, é possível que a energia da radiação do visível seja suficiente. Aí então, ela poderá absorver uma certa quantidade de energia da luz da região do visível e o que não for absorvido será refletido e poderá entrar no nosso sistema visual, causando a sensação de cor.

No estado fundamental, o orbital molecular de energia mais alta preenchido é chamado de *HOMO* (*Highest Occupied Molecular Orbital*). O orbital molecular vazio de menor energia é chamado de *LUMO* (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*).[29] A transição eletrônica entre os orbitais *HOMO* e *LUMO*, portanto, é a que precisa de menor energia para ocorrer. Por isto, quanto mais próximos estiverem estes orbitais, menor será a diferença de energia entre eles e maior a probabilidade da molécula absorver radiação do visível e, conseqüentemente, causar no nosso cérebro a sensação de cor.

Resumindo, as energias dos orbitais moleculares podem variar como exemplificado no diagrama da figura **5**. Mas é importante lembrarmos que isto depende dos tipos de orbitais que compõem a molécula, pois existem moléculas que não possuem elétrons em

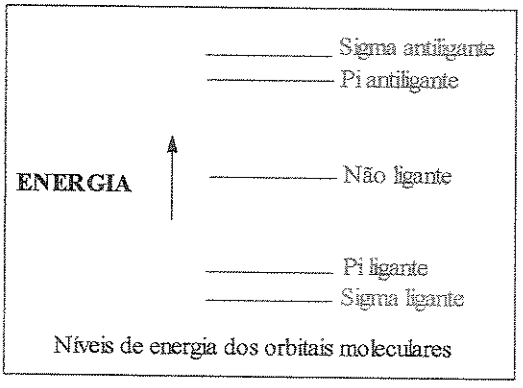
---

* De acordo com o *Princípio de Pauli*, num átomo, não existem elétrons com os quatro números quânticos iguais. Os orbitais de menor energia são preenchidos primeiro e os elétrons ocupam orbitais diferentes de um subnível, antes de ocupá-los duplamente.

** A *Regra de Hund* diz que um átomo no seu estado fundamental adota a configuração com o maior número possível de elétrons desemparelhados, isto é, em orbitais diferentes.

orbitais não-ligantes, outras que não possuem ligações duplas e, que, portanto, não possuem orbitais π e π^*, dentre outros casos.[27-29]

Figura 5- Exemplo de um diagrama que representa, de uma forma generalizada, os níveis de energia dos orbitais moleculares.



No estado fundamental, dependo dos átomos que formam a molécula e da forma que eles estão ligados, os orbitais *σ-ligante* (σ), *pi-ligante* (π) e o *não-ligante* (***n***) podem estar preenchidos, mas os orbitais *sigma-antiligante* (σ^*) e *pi-antiligante* (π^*), geralmente, estão vazios. Então poderiam existir as seguintes transições eletrônicas: $\sigma \rightarrow \sigma^*$, $\sigma \rightarrow \pi^*$, $\pi \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \pi^*$ e $\pi \rightarrow \pi^*$. No entanto, uma transição entre os orbitais $\sigma \rightarrow \sigma^*$, $\sigma \rightarrow \pi^*$, levaria a dissociação da ligação. As transições entre os orbitais $\pi \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \sigma^*$ também precisariam de muita energia para ocorrer, já que estes orbitais estão muito distantes uns dos outros. Portanto, as transições entre os orbitais $n \rightarrow \pi^*$ e $\pi \rightarrow \pi^*$, que são os orbitais que estão mais próximos uns dos outros na molécula, precisariam de menor energia para ocorrer, comparadas com as outras. Em muitas moléculas, para que as transições entre os orbitais $n \rightarrow \pi^*$ e $\pi \rightarrow \pi^*$ ocorram, a luz com comprimentos de onda da faixa de *200* até *700 nm*, possui energia suficiente.[27,29]

Em muitos casos, a energia da luz emitida pelo sol que chega até a superfície (*290* até *2.500 nm*) não é suficiente para excitar estes elétrons. Então, quais são as moléculas que absorvem luz da região visível?

Através do diagrama que mostra os níveis de energia dos orbitais moleculares é possível prever que as transições eletrônicas $\pi \rightarrow \pi^*$ e $n \rightarrow \pi$, são as que precisam de menor

energia para ocorrer. Portanto, quanto mais próximos estiverem estes orbitais, menor é a energia necessária para que a transição eletrônica ocorra. Moléculas que possuem elétrons π deslocalizados por muitos átomos, ou seja, que possuem muitas ligações duplas conjugadas, possuem orbitais π mais próximos de orbitais π^*. Portanto, quanto maior o número de elétrons π deslocalizados, menor é a diferença de energia entre estes orbitais e, em muitos casos, para as transições eletrônicas entre o *HOMO* e o *LUMO*, e entre outros orbitais π e π^* a energia absorvida é da região do visível.[18,19,27,28]

A deslocalização eletrônica faz com que a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO* diminua, conseqüentemente o orbital *LUMO* fica com um menor caráter anti-ligante. Este efeito do aumento do número de ligações múltiplas conjugadas pode ser observado para os compostos aromáticos, como os derivados do benzeno.[18]

Para o benzeno, assim como para qualquer outra molécula, a transição eletrônica que requer menos energia é a que ocorre entre os elétrons que estão no *HOMO* e são deslocados para o *LUMO*, que são orbitais π e π^*, respectivamente. Nesta transição há a absorção de energia de *4,9 eV*, correspondendo a um comprimento de onda de *255 nm*, que está na faixa do ultravioleta.[28] A luz emitida pelo sol que chega até a superfície não tem energia com este comprimento de onda, por isto os elétrons do benzeno permanecem no estado fundamental.

Entretanto, quando aumenta-se a conjugação do sistema, como por exemplo no caso do naftaleno, um composto formado por dois anéis benzênicos fundidos, que possui dez elétrons π deslocalizados, a diferença de energia entre o orbital *HOMO* e o *LUMO* é menor do que para o benzeno ($Energia\ do\ HOMO_{naftaleno} > Energia\ do\ HOMO_{benzeno}$, $Energia\ do\ LUMO_{naftaleno} < Energia\ do\ LUMO_{benzeno}$) e para que esta transição ocorra é necessário fornecer menos energia em comparação com a mesma transição no benzeno.

Neste caso é preciso fornecer *4,0 eV*, o que corresponde a um comprimento de onda de *310 nm*.[28] Esta energia também está na região ultravioleta, mas como a atmosfera não está conseguindo filtrar todos os comprimentos de onda do ultravioleta, esta transição eletrônica pode ocorrer quando a radiação emitida pelo sol que chega até a superfície incide numa molécula de naftaleno. Todavia, o naftaleno também não causa sensação de cor, mas comparando-se com o benzeno podemos constatar que o comprimento de onda de absorção está mais próximo da região do visível.

O que aconteceria se três anéis benzênicos estivessem fundidos? Neste caso, no antraceno, quatorze elétrons π estão deslocalizados sobre a molécula; como conseqüência, a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO* é menor ainda, quando comparada à do naftaleno e a do benzeno (*3,3 eV*, correpondendo a um comprimento de onda de *375 nm*). Contudo, a energia da luz visível ainda não é suficiente para que a transição eletrônica ocorra.[28]

Quando o número de ligações duplas conjugadas aumenta ainda mais, como no exemplo do naftaceno, onde 18 elétrons π estão deslocalizados, a energia da luz visível passa a ser suficiente para que ocorra a transição eletrônica. Então, este composto causa a sensação de cor, pois o somatório dos comprimentos de onda refletidos pode interagir com nosso sistema visual! Os elétrons do orbital *HOMO* do naftaceno absorvem energia com comprimento de onda de *475 nm* (*2,6 eV*) para ir ao estado excitado (*LUMO*). Quando aumenta-se ainda mais a conjugação, como no pentaceno, que possui 22 elétrons π deslocalizados, diminui-se ainda mais a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO* e o comprimento de onda de absorção é ainda maior, tendo um valor de *575 nm*, o que corresponde a *2,2 eV* de energia, que está na região do visível; por isto também temos a sensação de cor ao nos depararmos com este composto.[28]

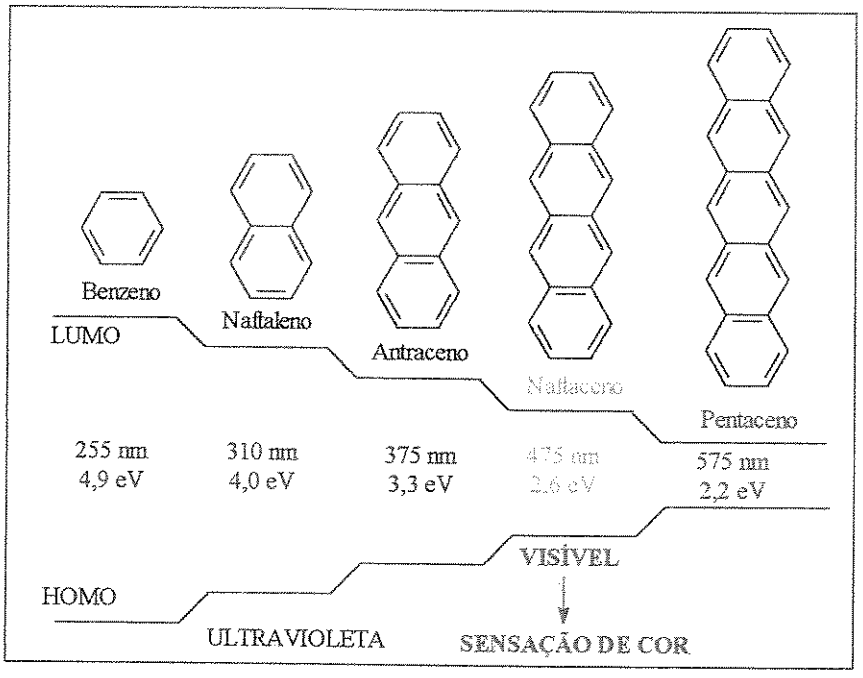
A comparação entre as diferenças de energia dos orbitais *HOMO* e *LUMO* do benzeno, naftaleno, antraceno, naftaceno e pentaceno, assim como dos comprimentos de onda e a quantidade de energia que é necessária para que a transição eletrônica entre os orbitais ocorra está na figura **6**.

Assim como o antraceno e o naftaceno existem milhares de moléculas que agem absorvendo e refletindo luz da região do visível, e como conseqüência, causam no nosso cérebro a sensação de cor. Elas estão distribuídas por toda a natureza, nos vegetais e nos animais. Muitas delas também foram desenvolvidas pelos homens, e são utilizadas em quase todas as suas criações.* Estamos rodeados de moléculas que absorvem e refletem luz no visível, nos seus mais diversos comprimentos de onda.

---

* Ver *"Moléculas e Sensações de Cor"*, páginas 72-94.

Figura 6 - Comparação entre as diferenças de energia dos orbitais *HOMO* e *LUMO* para o benzeno, naftaleno, antraceno, naftaceno e pentaceno.



No entanto nem todas as moléculas que estão em nosso ambiente são percebidas como coloridas. Imagine uma molécula que possua um número muito grande de elétrons deslocalizados, tão grande que não conseguiríamos quantificá-lo. Conseqüentemente, ela teria inúmeros orbitais π *ligantes* e inúmeros orbitais π *antiligantes*, e seriam possíveis inúmeras transições $\pi \rightarrow \pi^*$. Como será que perceberíamos esta molécula? Ela nos causaria alguma sensação?

Neste caso, para realizar todas estas transições eletrônicas poderiam ser absorvidas radiações de todos os comprimentos de onda da região do visível (e de outras regiões também). Assim, nada sobraria para ser refletido. Será que a enxergaríamos?

Esta molécula não ativaria nenhum fotorreceptor, já que para isto é necessário haver algum estímulo, que, neste caso, é a energia da região do visível. No entanto, muitas destas moléculas estão presentes, por exemplo, numa cena visual e conseguimos diferenciá-las das demais. Como isto é possível?

Para estas moléculas, geralmente, atribuímos a cor preta! Na realidade, o preto não é uma cor, pois não é uma sensação, não existe um estímulo! O preto é fruto de uma

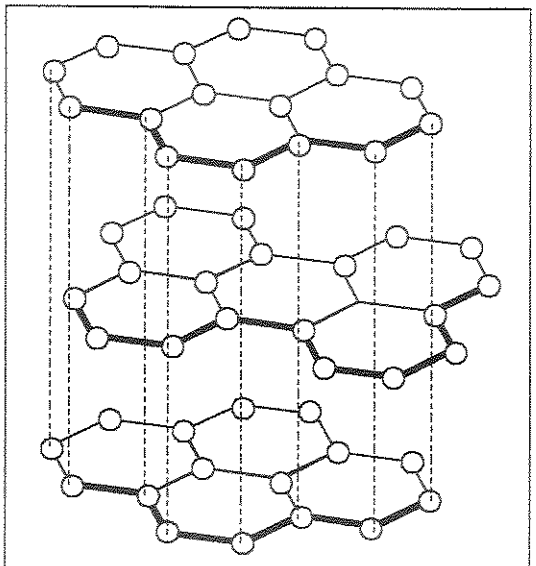
percepção! A percepção não é o oposto da sensação, mas é a organização, seleção e integração de todas as sensações. Por isto, ao observar uma cena visual, quando existe algum objeto preto, escuro ou negro nesta cena, e se o ambiente estiver iluminado, podemos enxergá-lo, mas aquele objeto não estará refletindo nenhum comprimento de onda da região do visível, por isto, os fotorreceptores não estarão sendo ativados. Na realidade, os outros objetos da cena que refletem luz da região do visível é que estão ativando os fotorreceptores, como não enxergamos um único ponto, mas sim a cena toda, nosso cérebro completa aquele ponto e percebemos o objeto negro.

Portanto, para estimular nossos fotorreceptores, a luz emitida pelo sol que chega até a superfície tem de ser decomposta, ou deve-se retirar uma ou mais componentes dela, porque aí o somatório dos comprimentos de onda refletidos estimula o nosso sistema visual e podemos ter uma sensação de cor. Moléculas que absorvem todos os comprimentos de onda da luz visível e, conseqüentemente, não refletem nenhuma não estimulam os nossos fotorreceptores.

Quais seriam estas moléculas? A grafite, cuja estrutura está representada na figura 7, é um exemplo. Apesar de brilhante a grafite causa uma percepção de escuridão, isto porque possui muitos anéis de seis átomos de carbono ligados; porém neste caso, os átomos de carbono não estão ligados a átomos de hidrogênio, como nos derivados do benzeno, mas estão ligados entre si, formando camadas com muitos anéis.

Na figura 7, está ilustrado apenas um fragmento da grafite, já que ela é polimérica. Podemos observar que a estrutura da grafite é feita de camadas e que cada átomo de carbono faz três ligações sigma com outros três átomos de carbono; os elétrons resultantes ficam em orbitais π. Este número muito elevado de elétrons π deslocalizados faz com que todos os orbitais da grafite, ligantes e antiligantes fiquem muito próximos, formando verdadeiras bandas de energia.[29] Conseqüentemente, como existem inúmeros orbitais, muitas transições eletrônicas podem ocorrer, o que faz com que a grafite absorva fótons de praticamente todos os comprimentos de onda da luz visível e, por isto não há estímulos para os nossos fotorreceptores.

Figura 7- Estrutura da grafite.



Representação da estrutura da grafite

Como será que as diferenças entre sensação de cor e percepção de escuridão são detectadas? Como os fotorreceptores trabalham? Como as mensagens são enviadas ao cérebro? Isto é o que discutiremos a seguir.

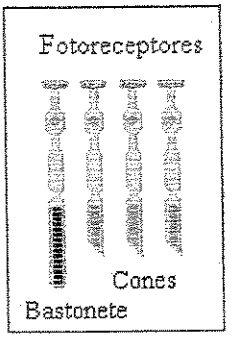
- **Fotorreceptores e sensações visuais**

Os fotorreceptores são células capazes de absorver a energia da luz com comprimentos de onda que variam de *400* a *700 nm*. No olho existem aproximadamente 125 milhões deles, subdivididos em quatro grupos, sendo que cada um é seletivo, principalmente, a uma determinada faixa de energia da região do visível. Eles podem ser divididos em dois grandes grupos, o dos cones e o dos bastonetes, e existem três tipos diferentes de cones e um único tipo de bastonete, conforme ilustrado na figura **8**.[9-14]

Os bastonetes são capazes de captar fótons de comprimentos de onda que variam numa faixa de *400* a *600 nm*, sendo extremamente sensíveis à luz. Eles são aproximadamente 1000 vezes mais sensíveis do que os cones, já que um único fóton é capaz de ativar um bastonete, mas são precisos muitos fótons para ativar os cones. Além

disso, estão em maior número no olho, pois existem aproximadamente vinte bastonetes para cada cone. Por isto mesmo que eles são ativados quando há pouca luz.[9-14]

Figura 8- Representação dos bastonetes e cones.



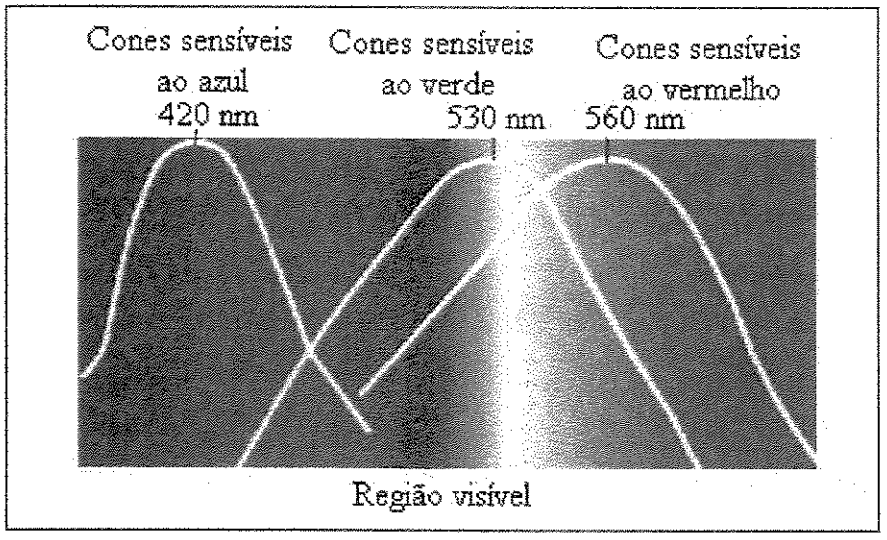
Apesar de não conseguirmos discriminar as sensações de cores quando há muito pouca luz, como à noite, somos capazes de enxergar a forma e outras características dos objetos, isto porque nestas ocasiões somente os bastonetes são ativados. Porém, mesmo sendo extremamente sensíveis à luz, não produzem imagens visuais bem definidas e também não conseguem discriminar cores.[9-14]

Por outro lado, durante o dia ou quando há muita luz, os cones são ativados. Então, como só enxergamos cores em ambientes iluminados, são eles os responsáveis por detectar as variações da energia da região do visível! Portanto, eles agem quando existem muitos fótons no ambiente, por isto não precisam ser tão sensíveis quanto os bastonetes. Apesar de estarem em menor número e de serem menos sensíveis à luz que os bastonetes, são os responsáveis pela visão de alta resolução; é através deles que conseguimos discriminar detalhes de uma cena visual. Todas as sensações visuais, incluindo a cor, a forma, a textura ou o movimento, são melhores captados por eles. Isto só é possível porque existem três tipos de cones e cada um deles absorve, principalmente, luz de apenas uma faixa do espectro na região do visível.[9-14]

Quais seriam estes tipos de cones? Que comprimentos de onda absorveriam? Na realidade, os três tipos de cones que existem são sensíveis a diferentes comprimentos de onda da região do visível. Por exemplo, os cones que absorvem luz de muita energia, que, portanto, são as ondas de menores comprimentos, da faixa que vai de *400* até

aproximadamente *480 nm*, são chamados de cones sensíveis ao azul. Os que absorvem luz com energia variando de *430* até, aproximadamente, *670 nm*, são denominados sensíveis ao verde. Já os que são seletivos aos maiores comprimentos de onda, ou seja, à luz de menor energia, são os sensíveis ao vermelho, e absorvem luz de comprimentos de onda que varia de *500* até, aproximadamente, *700 nm*. Portanto, dependendo dos cones que serão ativados, teremos a sensação de uma determinada cor. Na figura **9**, está representada seletividade destes três tipos de cones nos mais diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético da região visível.[9-14]

Figura 9– Representação da seletividade dos cones em função dos comprimentos de onda do espectro eletromagnético da região visível.



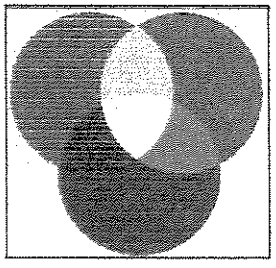
A partir desta figura, podemos observar que estes três tipos cones são importantes para conseguirmos discriminar as sensações de cores. Assim, quando a luz emitida pelo sol que chega até a superfície incide numa molécula com intensa *deslocalização eletrônica*, ela absorve parte da luz visível e reflete o que não foi absorvido. Vamos supor que ela absorva energia de comprimentos de ondas de *400* a *600 nm*; ela refletirá a energia que não foi absorvida, que correspondem aos comprimentos de onda longos de *600* a *700 nm*. Esta energia, ao ser captada pelo nosso sistema visual ativa os cones sensíveis aos comprimentos de onda longos e, conseqüentemente, teremos uma sensação de vermelho.

Da mesma forma, uma molécula que absorve energia de comprimentos de onda longos, para que seus elétrons sofram transições eletrônicas, reflete os comprimentos de onda curtos que ativam, principalmente, os cones sensíveis ao azul, e atribuiremos esta cor à ela.

No entanto, não enxergamos somente as cores: azul, vermelho ou verde. Como já mencionamos somos capazes de perceber até 10 milhões de cores diferentes, então como enxergamos as demais?

Todas as cores que somos capazes de enxergar são devidas às combinações das atividades destes três tipos de cones! Por exemplo, se os cones sensíveis ao verde e ao vermelho são igualmente ativados, temos uma sensação de amarelo, conforme ilustrado na figura **10**. Da mesma forma, quando os sensíveis ao vermelho forem mais ativados que os sensíveis ao verde, teremos uma sensação de laranja ou, ainda quando os sensíveis ao verde forem mais ativados que os sensíveis ao vermelho, teremos uma sensação de amarelo-esverdeado. Assim, *quando a luz refletida pelas moléculas entra nos nossos olhos, ela ativa os cones em diferentes proporções para termos diferentes sensações de cores.*[9-11]

Figura 10 – Ilustração das combinações de cores captadas pelos três tipos de cones.



O que aconteceria se uma pessoa não tivesse cones? Ela, conseqüentemente, teria uma grave deficiência visual, ou teria uma visão muito restrita, devido aos bastonetes. Não enxergaria durante o dia, não definiria formas, cores, ou outros detalhes de uma cena visual. Existem pessoas que nascerem sem um ou dois tipos de cones, porém estas pessoas enxergam relativamente bem, mas não discriminam muito bem as cores. Este é o caso dos daltônicos!

O daltonismo é uma doença genética, e existem daltônicos que não possuem cones sensíveis ao vermelho, outros que não possuem os sensíveis ao verde e ainda existem os que não possuem os sensíveis ao azul.[12] O que acontece quando, por exemplo, os cones sensíveis ao vermelho estão faltando? Como a pessoa enxerga?

Se o daltônico nascer sem os cones sensíveis ao vermelho, poderá discriminar perfeitamente as sensações de cores de comprimentos de onda de *400* à aproximadamente *500 nm*, mas a partir desta faixa os cones que estão faltando prejudicariam as distinções das percepções das outras cores. No entanto, a pessoa consegue enxergar na faixa de comprimentos de onda que vai até aproximadamente *675 nm*, devido aos cones sensíveis ao verde. Poderíamos imaginar que os daltônicos que não têm cones sensíveis ao vermelho não conseguem discriminar cores como amarelo, vermelho ou laranja, pois para discriminá-las, é necessário que estes cones sensíveis sejam ativados.[12-14]

Da mesma forma, se os cones sensíveis ao azul estiverem faltando, a pessoa perceberia os comprimentos de onda de médio para longo, onde os cones sensíveis ao verde e vermelho atuam. E se os cones sensíveis ao verde estiverem ausentes? A pessoa poderia não ter uma visão tão perfeita, mas enxergaria todo o espectro da região do visível, pois como a faixa em que os cones sensíveis ao verde atuam, que é uma faixa de comprimentos de onda médios, os cones sensíveis ao azul e ao vermelho também atuam, estes cones fariam o trabalho extra. Porém, se dois tipos de cones estiverem faltando, a visão da pessoa seria seriamente prejudicada, pois os cones não são somente importantes para discriminar cores, mas também são fundamentais para captar os outros detalhes da cena visual.[12]

As diferenças entre os diversos comprimentos de onda da região do visível que estão em uma mesma cena visual fazem com que os cones consigam formar as imagens no olho. Nestas imagens, podem existir pontos em que nenhum cone foi ativado, como quando existe um objeto que capta todos os comprimentos de onda da luz da região do visível. Mas, o que será que acontece se os três cones forem ativados?

Para que os três cones sejam igualmente ativados, a molécula deverá espalhar luz de todos os comprimentos de onda do visível. Quando isto acontece, os sensíveis para vermelho absorvem a energia dos comprimentos de onda da luz visível longos, os sensíveis ao verde absorvem os médios e os sensíveis ao azul absorvem todos os curtos, e, neste caso, o resultado é a sensação de branco.[9-11]

É importante notar que o branco é uma sensação, pois há o estímulo da luz. Por outro lado, os objetos pretos somente são percebidos, pois não há estímulo. E os objetos transparentes? Causam alguma sensação? Porque são percebidos? Qual a diferença entre o branco e o transparente?

Os objetos transparentes também não causam nenhuma sensação, mas causam percepções. A luz com todos os comprimentos de onda da região do visível misturados, por exemplo, nos é aparentemente transparente, mas quando decomposta num prisma ou num arco-íris podemos comprovar que ela é formada pelos vários comprimentos de onda do visível misturados. Então, quando não é decomposta não temos nenhuma sensação, nem mesmo percepções. No entanto, quando atravessa um objeto, que está no estado sólido ou líquido, na qual ela seja refratada e posteriormente refletida, sem mudar de direção, este objeto é então transparente. Mas, quando ela é espalhada por uma superfície, em todas as direções, ela é captada por todos os cones e temos a sensação de branco.

Por exemplo, por que enxergamos a água, que é transparente? Nem sempre a enxergamos, basta lembrarmos que no ar existem moléculas de água no estado gasoso e não somos capazes de enxergá-las. Mas, quando ela está no estado líquido ou no sólido a percebemos como transparente. Porém, a luz visível não faz com que seus elétrons sejam deslocados de orbitais ligantes para antiligantes. Então, na realidade, não a enxergamos, já que ela não reflete nenhum comprimento de onda da luz da região do visível! O que enxergamos é a sua forma, textura, movimento ou direção.

Todas as imagens são formadas no olho devido à reflexão e à diferença entre os comprimentos de onda absorvidos. São estas imagens, que, posteriormente, serão levadas até o cérebro onde serão transformadas em sensações e percepções. À noite, ou em pouca luz, não somos capazes de enxergar tantos detalhes, porque os bastonetes não formam imagens tão precisas. Mas como os cones e bastonetes trabalham? Como são capazes de formar imagens, de captar comprimentos de onda?

Os fotorreceptores agem como as moléculas que causam a sensação de cor, absorvendo a luz refletida do ambiente. Por isto, é de se imaginar que exista nos cones um sistema capaz de absorver luz da região do visível. Como são os sistemas que absorvem luz? Eles contêm elétrons π deslocalizados, e assim podemos afirmar que *a deslocalização*

eletrônica é a grande responsável pela visão! A seguir entenderemos melhor como funciona este sistema.

- **Funcionamento dos fotorreceptores**

Nos cones e nos bastonetes existem proteínas que contêm o 11-cis-retinal como ligante. Estas proteínas são denominadas de opsinas, e são diferentes para os cones sensíveis ao vermelho, azul e verde e para o bastonete. O conjunto formado pela opsina com o 11-cis-retinal forma a rodopsina e, portanto, é a parte protéica que faz com que o fotorreceptor seja capaz de absorver luz nos diferentes comprimentos de onda.[27,30,31]

O 11-cis-retinal liga-se a um resíduo de lisina (um aminoácido) da opsina, como resultado, forma-se uma imina a partir da reação entre o grupo amino da lisina e o grupo aldeído do 11-cis-retinal. Este sistema é conjugado, portanto, possui elétrons π deslocalizados que conseguem absorver luz do visível, realizando a transição eletrônica $\pi \rightarrow \pi^*$. A absorção da luz faz com que a ordem da ligação* entre o carbono 11 e o carbono 12 diminua, o que faz com que o 11-cis-retinal se isomerize para trans-retinal, esta isomerização está ilustrada na figura **11**.[25, 27, 31]

Esta isomerização ativa a opsina, o que altera os comprimentos de luz que o fotorreceptor é capaz de absorver. O 11-cis-retinal também pode ser excitado pela luz ultravioleta, mas esta radiação, normalmente, é filtrada por uma substância presente na córnea**, de maneira que só enxergamos os comprimentos de onda correspondentes à região do visível.[9-14, 30]

A molécula de 11-cis-retinal encaixa-se perfeitamente na opsina, o que não ocorre com seu isômero trans. Quando a luz atinge os fotorreceptores é absorvida pela opsina, que combinada ao 11-cis-retinal absorve a luz da faixa do espectro visível, devidos às transições eletrônicas que ocorrem entre os elétrons que formam as ligações π. Nesse caso, os elétrons que formam a dupla ligação na parte em que a molécula de 11-cis-retinal está dobrada, se

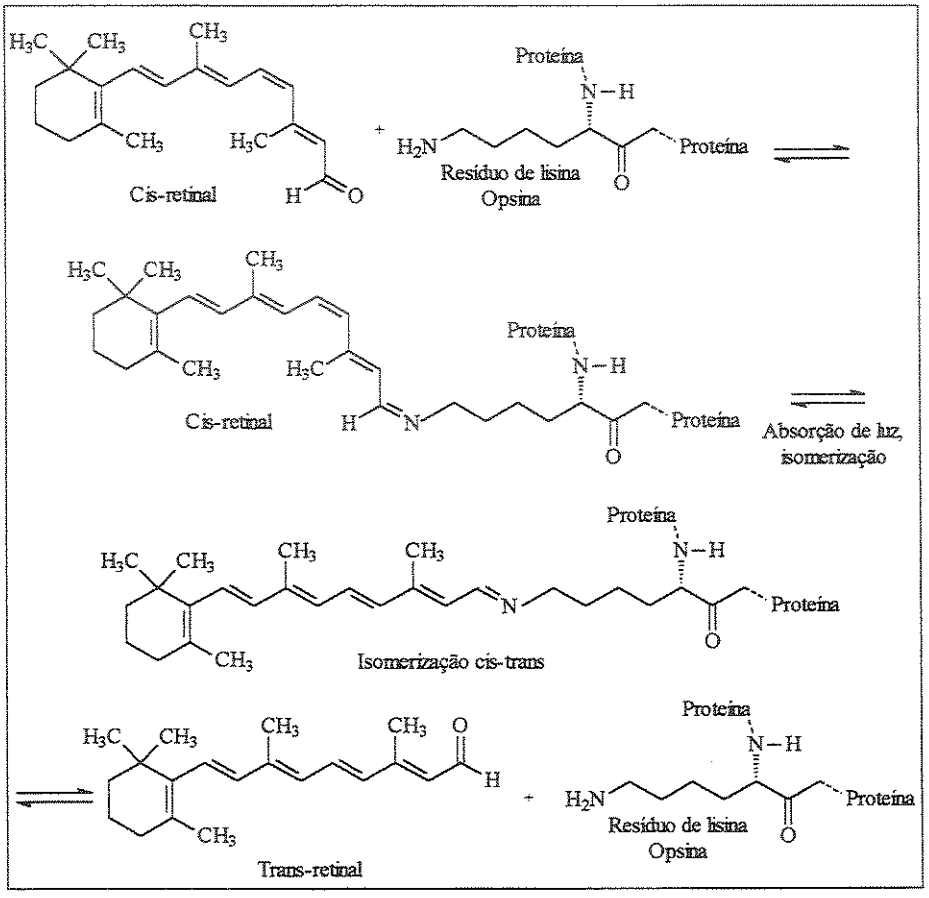
---

* A ordem da ligação é o número líquido de ligações, obtidas a partir do cancelamento que ocorre entre orbitais moleculares ligantes e antiligantes. Para calculá-la basta utilizar a expressão: ***½ (B-A)***, sendo que ***B*** é o número de elétrons presentes nos orbitais moleculares ligantes e ***A*** é o número de elétrons nos orbitais moleculares antiligantes.

** Na próxima parte do texto discutiremos como todas as partes do olho funcionam, inclusive a córnea.

separam, fazendo com que a molécula adquira maior flexibilidade e, portanto, possa girar. Assim, o 11-cis-retinal isomeriza-se, transformando-se em trans-retinal, após o reemparelhamento do par de elétrons desfeito.[25,27,28]

Figura 11- Isomerização do 11-cis-retinal à trans retinal.



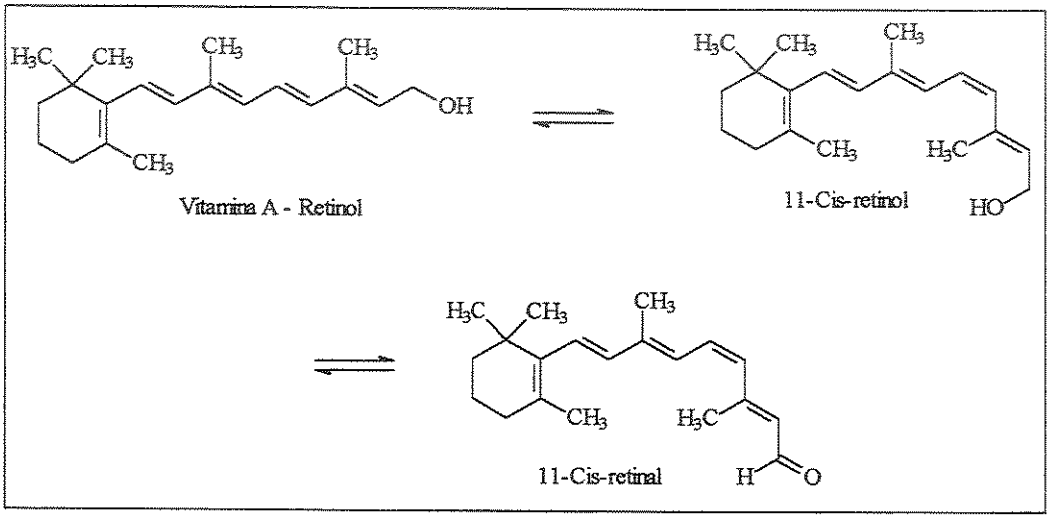
Porém, após receber o estímulo e formar a imagem, o trans-retinal tem de ser novamente reconvertido para 11-cis-retinal para que os fotorreceptores possam captar mais energia da região do visível. Este processo é catalisado pela enzima retinal-isomerase, o que requer energia fornecida pelo próprio fotorreceptor.[12]

Quando o 11-cis-retinal volta a se encaixar na opsina, reconstruindo a rodopsina, há uma liberação de energia, o que compensa a energia gasta no processo de reconversão do trans-retinal para o 11-cis-retinal. Então, o 11-cis-retinal volta a se ligar a opsina e o

fotorreceptor fica novamente preparado para captar mais luz e formar novas imagens visuais que serão conduzidas até o cérebro para serem interpretadas.[9-14]

O 11-cis-retinal também pode ser formado a partir do retinol, que é uma das formas da vitamina A, que está presente em grandes quantidades nos fotorreceptores. Neste caso, o retinol é isomerizado a 11-cis-retinol, que em seguida é oxidado a 11-cis-retinal, sendo que estas conversões também utilizam enzimas como catalisadores. Por outro lado, quando há um excesso de 11-cis-retinal nos bastonetes, ocorre o processo inverso e ele é convertido à retinol. A conversão do retinol a 11-cis-retinal está ilustrada na figura **12**.[12]

Figura 12- Ilustração da conversão do retinol a 11-cis-retinal.



O balanço da quantidade de 11-cis-retinal é fundamental para a visão e é mantida pela ingestão de vitamina A. Por isto, a deficiência desta vitamina pode causar cegueira noturna, pois não há mais vitamina para formar o 11-cis-retinal, conseqüentemente, a quantidade deste ligante fica muito baixa. Neste caso, os mais prejudicados são os bastonetes, que além de serem os fotorreceptores mais abundantes, são os que possuem maior quantidade de rodopsina. Sem o funcionamento dos bastonetes não é possível enxergar quando a luz está muito fraca e, como isto ocorre, geralmente, à noite, a pessoa fica com a visão comprometida nesta condição. Felizmente, esta doença tem cura! Pode-se saná-la injetando-se Vitamina A no paciente.[12-14]

A luz que entra no olho é captada pelos fotoreceptores e serve apenas como um estímulo para formar as sensações visuais. No entanto, no olho ainda não existem sensações, muito menos percepções. Por isto, é necessário entender como os fotoreceptores enviam mensagens ao cérebro.

- **Interação entre o olho e o cérebro**

A interação da luz com os fotoreceptores é apenas um primeiro passo, comparado com a quantidade de trabalho que o cérebro terá pela frente. E o que é a capacidade de efetuar trabalho? Energia!

A energia do ambiente é captada pelos receptores, que a tranforma, enviando mensagens ao cérebro que, novamente, as transformam em sensações e percepções, que utilizamos para interagir com o mundo!

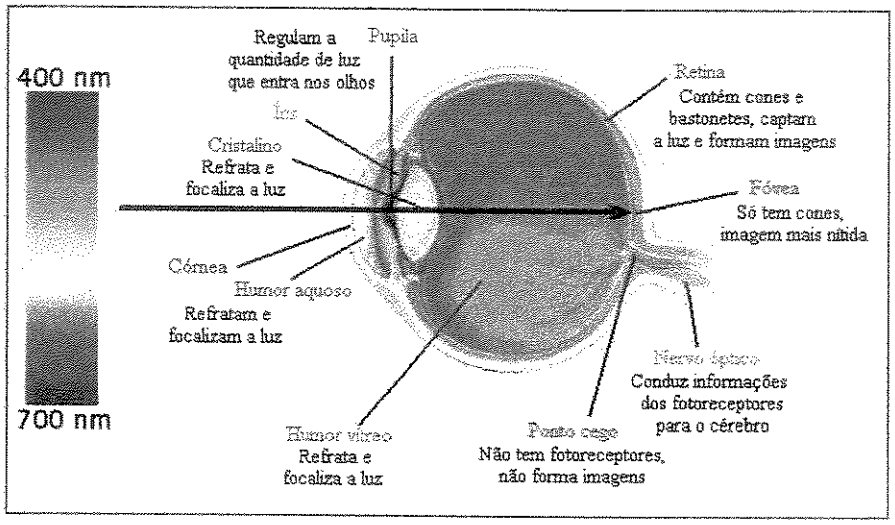
Todo este processo começa no olho, que é um instrumento óptico que cria uma imagem do mundo que percebemos. Este mundo é composto por radiações eletromagnéticas da região do visível que são refletidas e refratadas pelo ambiente. Cada parte do nosso corpo, dos corpos dos animais, dos vegetais, de todos os elementos da natureza e das criações do homem, reflete os diversos comprimentos de onda da luz.

O processo de criação de imagens começa com a captação de parte da luz do visível pelos fotoreceptores que estão localizados no fundo do olho, numa parte chamada de retina. A própria retina é composta por muitos tipos de células, estando dividida em dez camadas, sendo que a camada dos fotoreceptores é a última que a luz atinge. Por isto, nem toda luz que entra no olho é captada, calcula-se que apenas 10% de toda a luz que entra no olho seja utilizada para formar estas imagens.[9-15]

Mas, para que servem as outras partes do olho? Servem para regular a quantidade de luz que entra no olho, refratá-la e para focalizá-la! Por isto, elas são importantes para que a imagem seja perfeitamente formada. Se alguma parte do olho tiver algum tipo de defeito, ou seja, não estiver funcionando corretamente, podemos ter deficiências visuais. O olho é formado por várias estruturas, tais como ilustrado na figura **13**.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Figura 13 – Ilustração das principais partes do olho.



Quando a luz entra nos olhos, o primeiro lugar por onde ela passa é a córnea, uma membrana que refrata a luz, reduzindo assim sua velocidade em cerca de 25%, desviando-a para o centro do olho. Além disso, a córnea contém substâncias que filtram a radiação dos comprimentos de onda do ultravioleta.[9-15]

A córnea está em continuidade com a esclera, a parte branca do olho, que por conter músculos faz com que o olho se movimente, devido a eles podemos escolher o que queremos ver. Por exemplo, neste momento, você deve estar concentrado lendo este texto, para isto, você está movimentando os músculos do olho, movendo-os em direção à página. Desta forma, todos os outros estímulos que estão a sua volta não estão sendo percebidos.

A córnea cobre a pupila e a íris, porém entre a córnea e a íris há um líquido, o humor aquoso, que também refrata à luz, diminuindo ainda mais sua velocidade. A íris e a pupila, agem regulando a quantidade de luz que entra no olho, que tem de ser muito bem controlada, pois se entrar muita luz, a imagem formada será incomodamente clara e ofuscante, tal como acontece quando olhamos diretamente para o sol. Por outro lado, se a quantidade de luz for insuficiente, não conseguiremos distinguir imagens. A íris também possui músculos que contraem ou aumentam o tamanho da pupila. Porém, as sensações emocionais que podem ser causadas pela própria imagem que está sendo formada e o uso de algumas drogas também podem fazer com que o tamanho da pupila varie.[9-15]

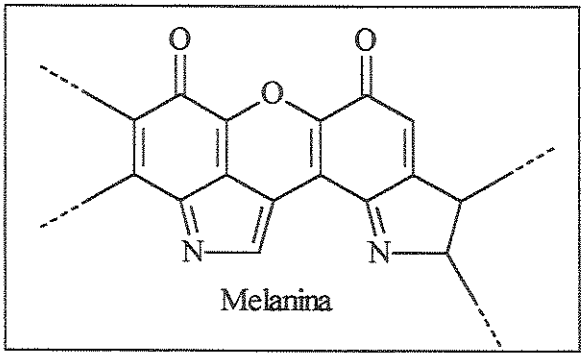
Após passar pela íris, a luz encontra o cristalino, que também a refrata, ajustando ainda mais o seu foco para o centro do olho. Ele é a parte mais importante para a refração, porque pode mudar de forma, alterando o seu poder de refração; desta forma poderemos ver imagens nítidas tanto de perto, quanto de longe. À medida que a pessoa envelhece, o cristalino vai perdendo esta capacidade e o olho permanece focalizado numa única distância; esta deficiência é chamada de presbiopia.[12]

Depois de ter atravessado a córnea, o humor aquoso, a pupila e o cristalino, a luz passa pelo humor vítreo, que mantém a refração estabelecida pelo cristalino. Aí então consegue finalmente chegar até a retina. Nela a luz passa por várias camadas até alcançar os fotorreceptores, onde as imagens são formadas a partir da absorção de diferentes comprimentos de onda refletidos e refratados pelo ambiente, que ativam os cones ou bastonetes, que isomerizam o 11-cis-retinal à trans-retinal.[9-15]

Na parte central da retina existe uma região onde os fotorreceptores são todos do tipo dos cones. Esta região é chamada de fóvea e por não conter os bastonetes e outras células que compõem as muitas outras camadas da retina, as imagens são formadas com maiores detalhes, sendo mais nítidas.[9-15]

Depois da camada dos fotorreceptores existe uma última camada, na qual existe uma substância que consegue absorver luz de todos os comprimentos de onda do visível, a melanina, cuja estrutura está mostrada na figura **14**. [9-15]

Figura 14 – Estrutura da melanina.



Melanina

A melanina age absorvendo luz de todos os comprimentos de onda do visível porque é polimérica e, portanto, possui muitos elétrons π deslocalizados. Além disso, como

são formadas ligações duplas entre o carbono e átomos que possuem elétrons não compartilhados como o nitrogênio e o oxigênio, além dos orbitais π ainda existem os n. Por isto, seus orbitais estão relativamente próximos e muitas transições eletrônicas podem ocorrer. Assim, a melanina é capaz de absorver luz dos mais diversos comprimentos de onda do visível, causando a percepção da escuridão.*

O fato de a melanina absorver luz de diversos comprimentos de onda, não só do visível, mas também do ultravioleta, a torna uma molécula de fundamental importância para a proteção da pele e do olho. Na retina, age absorvendo os comprimentos de onda que os fotorreceptores não captaram, impedindo uma reflexão por todo o olho, o que causaria uma iluminação difusa. É por isto que os albinos não enxergam direito! Porque como eles não têm melanina, a luz é refletida por todo o olho.[12]

Além disso, nesta camada da retina também existem grandes quantidades de vitamina A, que é fundamental para que os fotorreceptores absorvam luz da região do visível.[12]

Além da camada dos fotorreceptores e desta camada de melanina, as outras células que compõem a retina são fundamentais para que as diferenças de luz captadas pelos fotorreceptores, ou seja, as imagens, sejam enviadas ao cérebro. Estas células são neurônios, que são células especiais capazes de conduzir impulsos nervosos, através de estruturas chamadas de axônios. A energia da luz captada pelos fotorreceptores é utilizada para que o 11-cis-retinal se isomerize para trans-retinal, e isto faz com que os fotorreceptores se comuniquem quimicamente com estes neurônios, que através de seus axônios, transformam esta energia em energia eletroquímica, que são os chamados impulsos nervosos.[9-11]

Os axônios dos mais diversos neurônios da retina se organizam formando um feixe, chamado de nervo óptico, que conduz informações para várias partes do cérebro. No ponto da retina de onde sai o nervo óptico, não existem fotorreceptores, por isto a luz não pode ser captada, este é o ponto cego no olho. No entanto, não percebemos vazios nas nossas imagens, isto porque o cérebro corrige esta falha![9-11]

Outro mistério, corrigido pelo cérebro, é que por mais estranho que pareça, a imagem está invertida na retina! Isto ocorre porque os fenômenos físicos de refração a

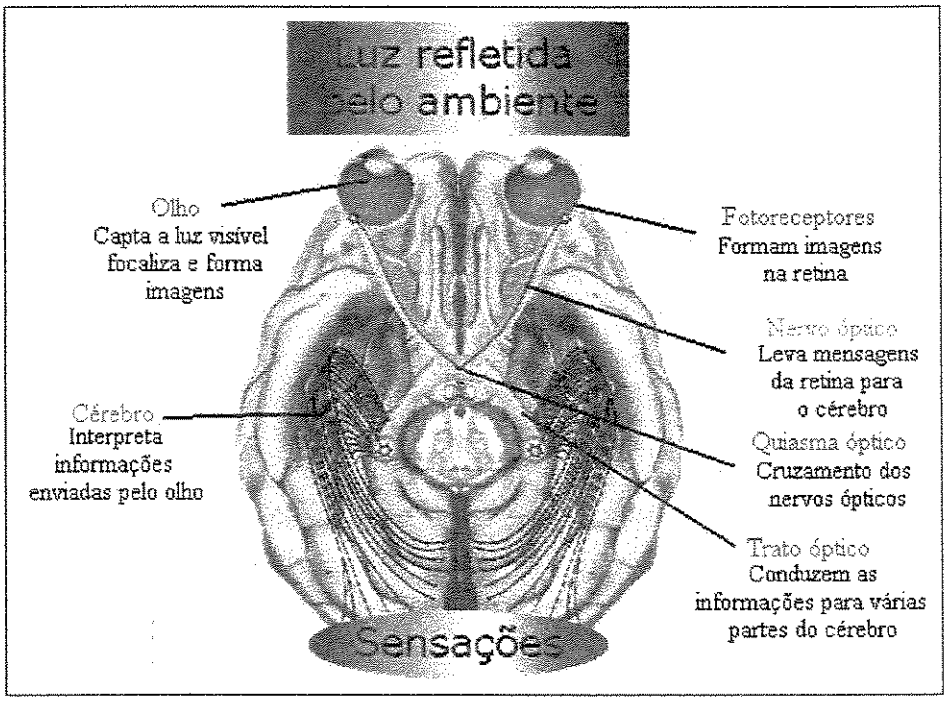
---

* Ver *"Moléculas e Sensações de Cor"*, página 72.

invertem. Porém, da retina até o cérebro, não existem mais fenômenos de refração, pois a informação é conduzida a partir dos impulsos nervosos e pela comunicação química dentre os neurônios de diversas partes do cérebro.[*9-11] Então, fica a pergunta: como será que o cérebro coloca a imagem na sua posição normal, tal como a percebemos?

Os nervos ópticos que saem de cada olho cruzam-se numa determinada parte do cérebro, chamada de quiasma óptico. No quiasma óptico há um cruzamento dos nervos ópticos, desta forma as informações trazidas pelo olho esquerdo são conduzidas para o lado direito do cérebro e vice-versa. Assim, as imagens captadas pelos fotorreceptores do olho esquerdo são identificadas no lado direito do cérebro. Do quiasma óptico formam-se os tratos ópticos, que inicialmente se parecem com os nervos, mas que depois são responsáveis por conduzir impulsos nervosos para várias áreas do cérebro. Na figura **15**, estão ilustradas as principais partes do cérebro, que participam das interpretações das imagens que saem da retina.[9-14]

Figura 15- Ilustração das principais partes do cérebro envolvidas com as sensações visuais.



[*] Ver *"Neuroquímica e Sensações"*, páginas 174-200.

Em diversas áreas do cérebro, existem neurônios participando da interpretação das informações conduzidas pelos nervos ópticos. Assim, existem neurônios que são mais especializados no reconhecimento do movimento, outros mais especializados no reconhecimento de formas e de cor, e outros em reconhecer faces de outros seres humanos. Além disso, as variações de luz controlam outras funções biológicas como o estado de sono e vigília.[9-11]

Neste texto discutimos como são formadas sensações visuais! Mas, não existe uma sensação pura, na realidade, elas sempre estão ligadas às percepções. Bilhões de neurônios trabalham arduamente e conversam o tempo todo para ligar as sensações visuais às emoções, à memória, à linguagem, ao pensamento, à consciência, ou à aprendizagem.

Não vemos tudo o que está a nossa frente, mas sim o que queremos ver. As sensações visuais formam percepções que são subjetivas! Isto é o que diferencia uma pessoa de outra, é isto que traz individualidade até mesmo para pessoas que possuem o mesmo genótipo como irmãos gêmeos univitelinos.

As imagens que causam emoções com certeza vão ficar gravadas na memória! Todas as outras imagens, ou melhor, todas as outras radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda de *400* até *700 nm* que nossos fotorreceptores detectaram, mas que os nossos neurônios "não quiseram identificar", pois não chamaram nossa atenção, serão descartadas, como se nada tivesse acontecido.

O nosso mundo é o mundo que percebemos! O mundo que sentimos! A partir de todas as sensações, não só as visuais, mas as auditivas, gustativas, olfativas e táteis, e da integração de todas as percepções, começam a ser formados nossos pensamentos, nossas imaginações, nossas ilusões. E podem virar fantasias, paixões, sonhos, ou podem causar medo, repudio, aversão!

Mas, quais são as moléculas que causam as sensações visuais? O que elas têm em comum? Como são percebidas? O que confere cor aos animais, aos vegetais e as criações do homem? No próximo capítulo discutiremos algumas destas questões.

• Considerações finais

Neste capítulo apresentamos o texto *"Visão, Luz e Cores"*, onde explicamos de uma forma geral, a sensação de cor, assim como as outras sensações visuais. As questões que levantamos poderão ser colocadas para os alunos em sala de aula, para que este tema possa ser debatido e para aumentar o interesse em conhecer outros conceitos, além dos debatidos num curso superior de química.

Nestas discussões, ressaltamos que a cor é uma sensação, e não uma propriedade da matéria ou da luz, mas que é importante que a luz interaja com a matéria. Para explicar a interação da luz com a matéria são utilizados conceitos freqüentemente explorados em aulas de química geral, química analítica, físico-química, química quântica, física e química orgânica.

Pode-se observar que a teoria do orbital molecular, especialmente, o conceito de deslocalização eletrônica, foi discutida de forma interdisciplinar. Nos materiais didáticos para o ensino superior, tradicionalmente, esta teoria é utilizada para explicar moléculas simples e, em alguns casos, as poliatômicas lineares. Nestes, freqüentemente, explora-se os conceitos de como os orbitais são formados, suas formas e os diagramas de energia que podem ser construídos a partir destes orbitais.

Em aulas que seriam explicados estes conceitos, como as de química geral, orgânica e físico-química, podem-se relacioná-los com a sensação de cor e com os outros conceitos aqui discutidos. Desta forma, seriam ilustradas as aplicações da teoria do orbital molecular e, principalmente, relacionando-os com outras áreas do conhecimento como física, biologia, neurologia, filosofia e psicologia. Os conceitos destas outras áreas, na maioria das vezes, não são relacionados com os de química e, dificilmente, são debatidos no ensino superior.

Além do conceito de deslocalização eletrônica, também foram abordados conceitos como o de energia, quantização dos estados de energia da molécula, dualidade partícula-onda, vibração, rotação e transição eletrônica. Estes são explorados em aulas de físico-química quântica e em aulas de química analítica, quando se explicam os princípios da espectroscopia. A discussão apresentada pelo texto *"Visão, Luz e Cores"* pode ser utilizada em aulas destas disciplinas para facilitar a assimilação destes conceitos.

Freqüentemente, os conceitos de óptica, reflexão e refração da luz, são explicados em livros didáticos de física. Por outro lado, as características do olho e sua interação com o cérebro são conteúdos explicados em livros de neurociências, fisiologia e oftalmologia. A discussão de sensação e percepção é um objeto de estudo da filosofia e da psicologia.

No entanto, nos livros de neurociências, fisiologia, oftalmologia, filosofia e psicologia não são encontradas discussões sobre a teoria do orbital molecular. Como o objetivo deste material não é a especialização, mas sim a interdisciplinaridade, as explicações detalhadas dos fundamentos, de todas as áreas, inclusive da própria química, não foram feitas. Porém, o professor pode explorar e detalhar melhor os conceitos que deseja em suas aulas. Assim, não só os professores de química, mas os de outras áreas podem usar o material como uma forma de tornar suas aulas interdisciplinares.

Esta discussão interdisciplinar também pode ser encontrada em alguns livros específicos, tal como o *Color, an Introduction to and Principles,* cujo autor Kuehni estabelece relações entre a teoria do orbital molecular e a sensação de cor.[33]

CAPÍTULO 3

"Moléculas e Sensações de Cor"

Luz do Sol
Que a folha traga e traduza
Em verde novo
Em folha, em graça, em vida
Em força, em luz
Céu azul
Que vem até onde os pés
Tocam a terra
E a terra inspira e exala
Seus azuis...
Leva no coração
Uma ferida acesa
Dono do sim e do não
Diante da visão
Da infinita beleza
Finda por ferir com a mão
Essa delicadeza
A coisa mais bonita
A glória da vida
Caetano Veloso[1]

Cada parte do nosso sistema visual é importante para a criação das sensações e percepções que temos ao observar uma única cena. Se o olho e cérebro não trabalharem em conjunto nada será formado. Assim, se houver algum problema com o olho, como no caso dos daltônicos, a energia da região do visível do espectro eletromagnético não será completamente captada e a pessoa não conseguirá discriminar todas as sensações de cor.

A luz emitida pelo sol que chega até a superfície da Terra, interagindo com as moléculas presente no ambiente geram estímulos para nutrir nosso cérebro com sensações! Os fotorreceptores são especializados em captar energia da região do visível e enviar mensagens para o cérebro, que as interpretam formando uma percepção da cena que estamos olhando. Esta cena pode conter inúmeras moléculas que interagem de várias formas com a luz, e desta forma, temos milhares de sensações de cor, assim como percepções de objetos transparentes e escuros.

Tanto no olho, quanto nestas moléculas, a energia da luz é usada para que elétrons sejam deslocados de orbitais de menor energia para orbitais vazios de maior energia.

Porém, nem todas as moléculas são capazes de apresentar transições eletrônicas captando energia do visível. A maioria das transições ocorre com a captação de energia da região do ultravioleta. Muitas vezes, não ocorrem tais transições e os elétrons permanecem no estado fundamental, isto porque para algumas situações nem a luz emitida pelo sol que chega até a superfície possui tal energia.

Existem milhares de moléculas que agem absorvendo e refletindo luz dos mais diversos comprimentos de onda da região do visível, causando a sensação de cor! Diariamente nos deparamos com milhares delas que estão distribuídas pela natureza e que foram sintetizadas pelo homem para conferir cores às suas criações.

Estas moléculas, muitas vezes, são utilizadas para um fim decorativo ou artístico. Porém, nos animais e plantas e inclusive no homem, muitas moléculas têm funções vitais, como a de proteção quanto ao excesso de radiação do sol ou são importantes fontes de captação de energia. As sintetizadas pelo homem são desenvolvidas por muitas indústrias e possuem muitas aplicações práticas como corantes e pigmentos*. Elas estão presentes em tintas, plásticos, borrachas, cerâmicas, vidros, papéis, tecidos, materiais de escritório, alimentos, cosméticos ou em fármacos.[2-4]

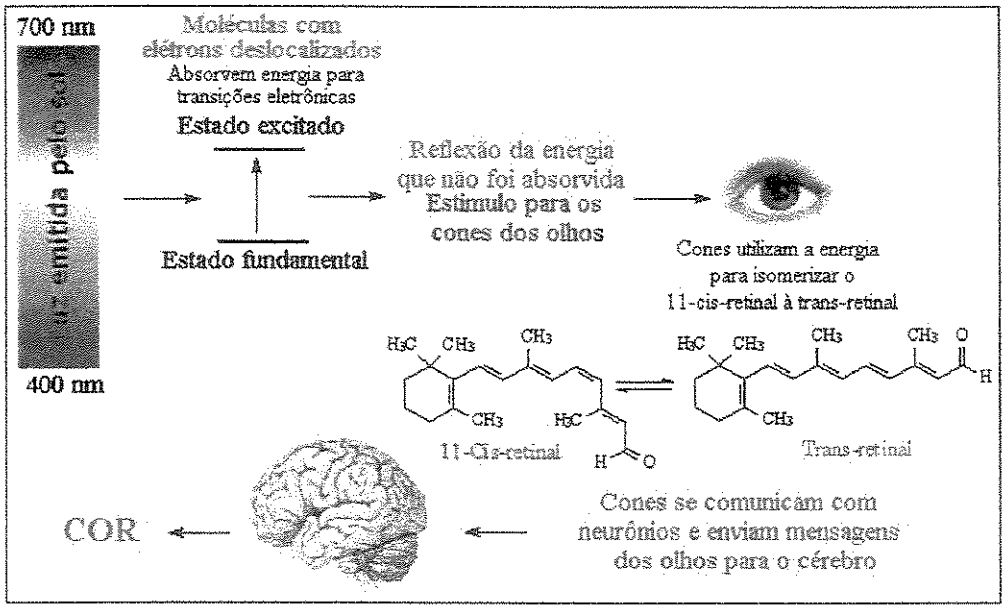
Todas elas possuem em suas estruturas elétrons deslocalizados por muitos átomos. Este é o caso das moléculas que estão presentes nos cones dos olhos! O 11-cis-retinal, combinado com as diferentes opsinas, pode captar luz da região do visível, por conter elétrons deslocalizados. A energia que é absorvida é utilizada para que o 11-cis-retinal se isomerize à trans-retinal, enviando assim uma mensagem para os neurônios do olho, que a levam até o cérebro.

Como existem três tipos de cones e cada um deles é mais sensível a absorver energia de diferentes faixas da região do visível, com a ativação de um ou dos três tipos em proporções diferentes, podem se formar no nosso cérebro até 10 milhões de sensações de cor. O processo de identificação das sensações de cores está resumido na figura 1.

---

* Neste texto, os termos corantes e pigmentos serão utilizados com o mesmo significado, apesar de freqüentemente os pigmentos serem classificados como insolúveis no meio onde estão sendo aplicados e os corantes serem solúveis.

Figura 1 – Ilustração do processo de formação de sensações de cores.



Muitos dos compostos que causam as sensações de cor são orgânicos, mas também existem moléculas inorgânicas capazes de absorver e refletir luz visível e causar estas sensações. Estas moléculas, freqüentemente, são formadas por metais quelados. Como nos metais de transição os orbitais atômicos ***d*** começam a ser preenchidos, e como estes orbitais possuem maior energia que os orbitais atômicos ***s*** ou ***p***, do mesmo nível os orbitais moleculares formados pelas combinações destes orbitais estão em níveis de energia mais altos. Por isto, as transições eletrônicas entre os orbitais ligantes e antiligantes absorvem luz da região do visível. Estes compostos, em geral, apresentam um intenso brilho. Por isto, são muito utilizados em tintas automobilísticas e em cosméticos, como maquilagens e esmaltes.[2,5]

Dentre as moléculas inorgânicas, destaca-se o Dióxido de Titânio, que é utilizado em, praticamente, todas as áreas industriais para conferir a cor branca. Além dele, também se destacam outros óxidos como o de ferro, que causa a sensação de vermelho, o de crômio, que causa a de verde, ou o de cobalto, que causa a de verde-azulado.[2]

Porém, sem dúvida, são os compostos orgânicos que estão mais amplamente distribuídos pela natureza e que possuem a maior importância comercial. Por isto, neste texto, os compostos inorgânicos não serão abordados.

A seguir, será feita uma breve análise de alguns compostos orgânicos, tanto os encontrados na natureza quanto os desenvolvidos pelo homem. Dentre estes compostos serão destacados os de maior importância biológica ou industrial, tais como a *melanina,* os *flavonóides*, os *carotenóides* e a *clorofila*, dentre outros.

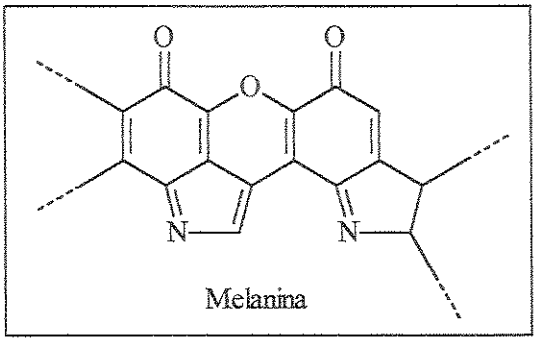
- **Melanina**

A melanina é um importante composto que está presente, principalmente, nos nossos olhos, pele, cabelo e pêlos. Sua concentração varia de pessoa para pessoa e é determinada geneticamente; por isto, quanto maior ela for, mais radiação da região do visível é absorvida e mais escura será percebida a pele, pêlo ou cabelo da pessoa, tal como pode ser observado na figura 2.[6]

Figura 2 – A concentração de melanina na pele varia de pessoa para pessoa e quanto maior for esta concentração, mais escura ela será percebida.

Esta molécula nos protege da radiação ultravioleta emitida pelo sol que chega até a superfície, que é nociva aos nossos tecidos. Isto porque, como é polimérica e possui um extenso grupo de elétrons deslocalizados, são possíveis muitas transições eletrônicas entre os orbitais π ligantes e π antiligantes; por isto, esta molécula consegue absorver luz de todos os comprimentos de onda do visível, bem como alguns da região do ultravioleta. A estrutura da melanina está ilustrada na figura **3**.

Figura 3- Estrutura da melanina.



Como a camada de ozônio está ficando cada vez mais rarefeita*, cada vez mais intensa é a radiação ultravioleta que está atingindo a superfície da terra. Por isto, a melanina da nossa pele, principalmente das pessoas mais claras, não está sendo capaz de absorver toda esta radiação para nos proteger. Tornou-se, portanto, cada vez mais necessário desenvolver produtos artificiais para proteger a pele, como os protetores ou filtros solares, cujos principais compostos ativos estão ilustrados na figura **4**.[7-10]

Estes compostos absorvem radiação do ultravioleta da faixa de *290* a *400 nm*. Na figura **4** encontramos as estruturas deles e os maiores comprimentos de onda da luz absorvidos pela molécula. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional à energia, o maior comprimento de onda absorvido por uma molécula se refere à transição eletrônica que requer menor energia, ou seja, a *HOMO-LUMO*. Para as outras transições ocorrerem é necessário fornecer mais energia, assim, estes compostos podem absorver outros comprimentos de onda da radiação do ultravioleta.[7-10]

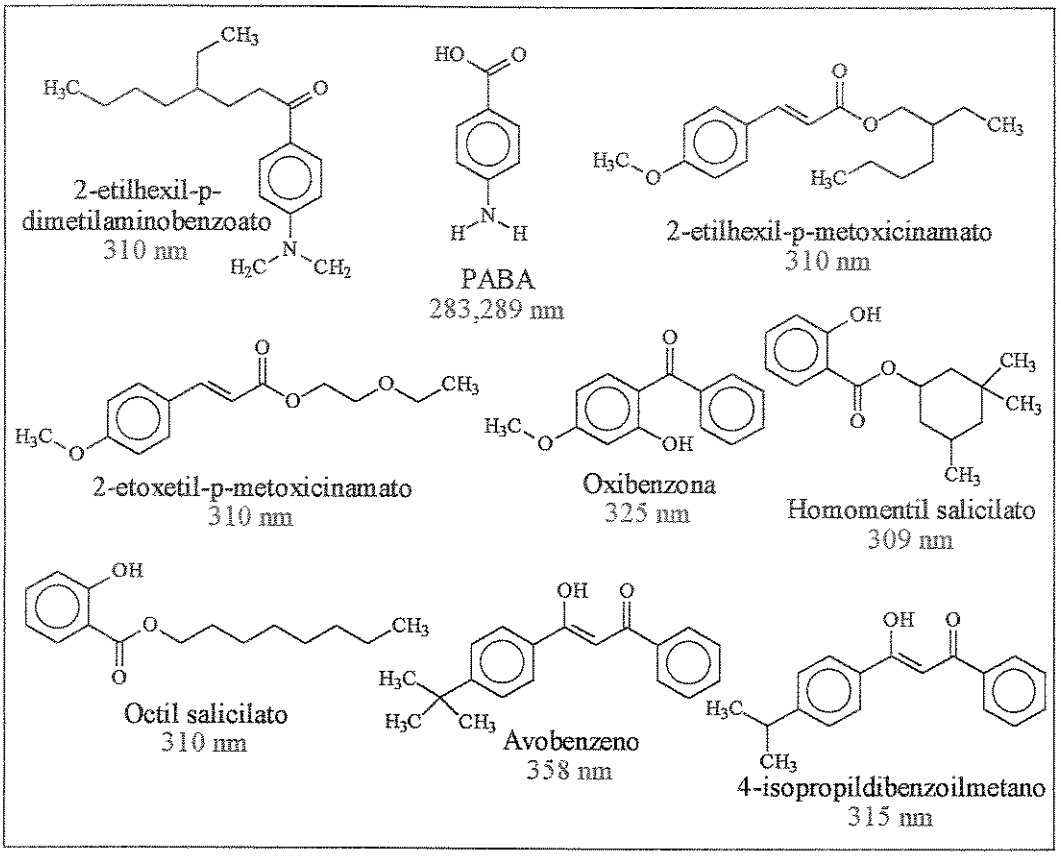
Estes compostos possuem em suas estruturas elétrons deslocalizados, mas não causam sensação de cor, já que a radiação visível não é suficiente para realizar as transições eletrônicas. No entanto, como absorvem no ultravioleta, podem ser utilizados para absorver a radiação emitida pelo sol que é prejudicial à nossa pele. Mas, o que aconteceria se aumentássemos ainda mais a conjugação do sistema?

O composto poderia absorver radiação da região do visível e não teria mais utilidade como protetor solar, mas causaria no nosso cérebro uma sensação de cor!

---

* Ver *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"*, página 104.

Figura 4- Estruturas de compostos que agem como protetores solares.



A função de proteção dos raios luminosos feita pela melanina nos animais, é desempenhada por outros compostos nos vegetais, tais como os *carotenóides*, os *flavonóides* e a *clorofila*, conforme será discutido a seguir.

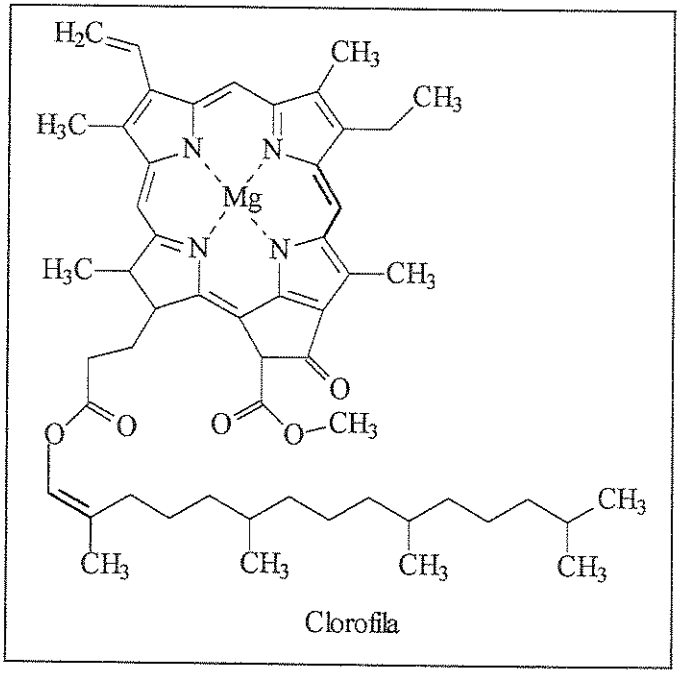
- **Algumas moléculas que causam sensações de cor presentes nos vegetais**

Todos os vegetais possuem clorofila, que reflete luz na região do visível e faz com que a sensação de verde se forme no nosso cérebro, tais como as observadas nas paisagens da figura **5**.[6,11]

Figura 5 – Fotos de algumas paisagens enfatizando a clorofila dos vegetais.

A clorofila também é muito utilizada para conferir cor aos alimentos, porém esta não é a sua maior importância, que é a de absorver luz e utilizar sua energia para realizar o processo de fotossíntese nos vegetais. Sua estrutura é planar policíclica, formada por um sistema de anéis pirrólicos substituídos, com átomos de nitrogênio que se ligam ao íon Mg^{2+}, conforme observado na figura **6**.[3,6,11]

Figura 6- Estrutura da clorofila.



Este composto possui muitos elétrons π deslocalizados; além disso, como existem ligações *C=C* conjugadas com ligações *C=N*, além dos orbitais π, os orbitais ***n*** também

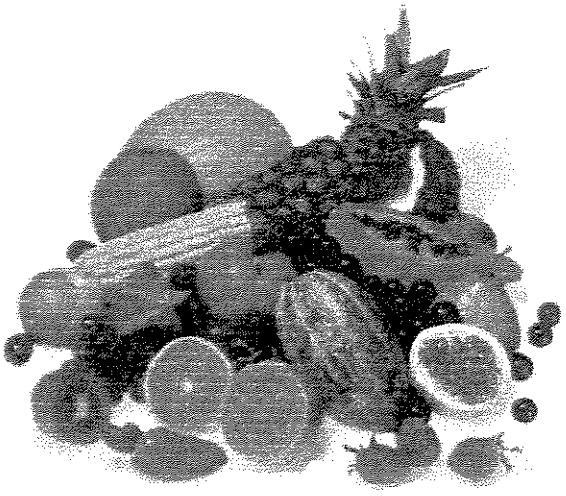
estão preenchidos no estado fundamental. Quando a clorofila absorve luz visível com comprimentos de onda de aproximadamente *400 nm* e de *600 nm*, os elétrons do estado fundamental são deslocados para os do excitado. Como a energia da luz que não é absorvida é refletida, a combinação dos comprimentos de onda luz da região do visível que é refletida pelas moléculas de clorofila ativam principalmente os cones sensíveis ao verde e atribuímos esta cor à ela.[3]

Além da clorofila, os vegetais também possuem carotenóides, que são importantes para o amadurecimento dos frutos. Antes de amadurecer, o vegetal, geralmente, é rico em clorofila, mas possui pequena quantidade de carotenóides; contudo, durante o amadurecimento, há o desaparecimento da clorofila e o aparecimento dos carotenóides, por isto temos a sensação de que a fruta está mudando de cor. Também pode haver a degradação dos carotenóides, como conseqüência, a cor atribuída à flor ou o fruto vai se modificando, passando de alaranjada para amarelada, este fenômeno pode ser observado nas flores da figura 7.[11-13]

Figura 7 – Degradação dos carotenóides, ilustrando que a cor das flores vai ficando menos alaranjada.

Os carotenóides estão presentes em vários vegetais e causam as sensações das várias tonalidades de amarelo, laranja e vermelho, que são observadas em cenouras, mangas, caquis, tomates, mamões, pimenta vermelha, tais como as que observamos na figura 8.[6,12,13]

Figura 8- Ilustração de frutas que contêm carotenóides.



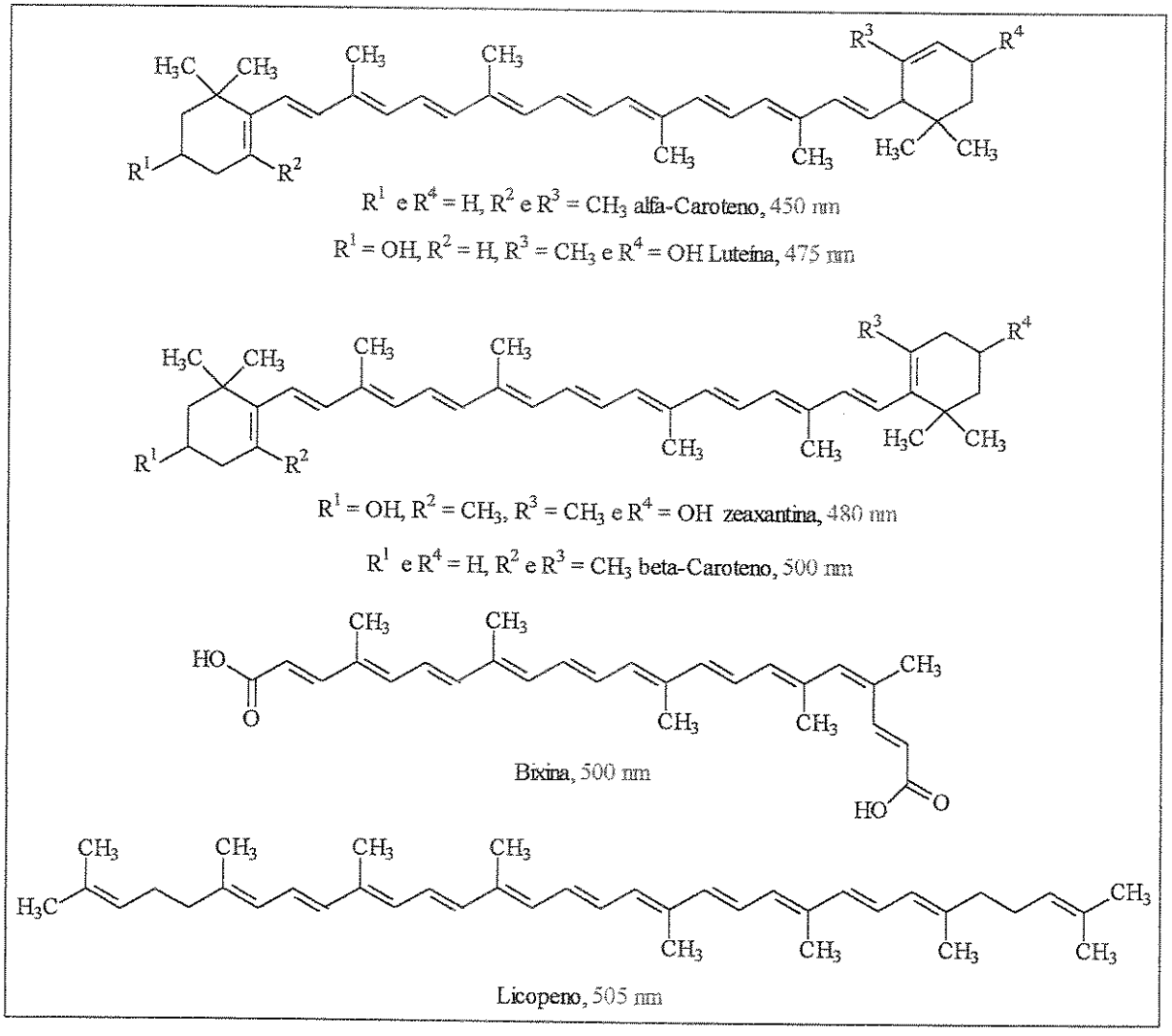
Por serem bem aceitos pelo organismo humano, estes compostos também são muito utilizados nas indústrias de alimentos e de cosméticos. Na tabela 1 estão especificados alguns exemplos de carotenóides, os comprimentos de onda absorvidos e a energia necessária para ocorrer à transição entre os orbitais *HOMO* e *LUMO*, bem como algumas fontes em que estão presentes e as cores que enxergamos para eles.[6,12,13]

Tabela 1 – Exemplos de carotenóides, suas fontes, comprimentos de onda absorvidos e energia para necessária para realizar a transição entre os orbitais HOMO e LUMO e a sensação de cor que causam.

CAROTENÓIDE	***ALGUMAS FONTES***	***λ (nm)***	***ΔE (eV)***	***SENSAÇÃO DE COR***
α-caroteno	Cenoura	470	2,6	Amarelo
β-caroteno	Cenoura e manga	500	2,5	Vermelho
Luteína	Gema de ovo	475	2,6	Amarelo
Zeaxantina	Gema de ovo, milho	480	2,6	Amarelo
Bixina	Urucum	500	2,5	Vermelho
Licopeno	Tomate e melancia	505	2,5	Vermelho

Na figura **9** encontramos as estruturas de alguns carotenóides tais como: α e β-caroteno, luteína, zeaxantina, bixina e licopeno que estão presentes em vários vegetais e que, portanto, fazem parte de nossa alimentação.[6,12,13]

Figura 9- Estruturas dos carotenóides.

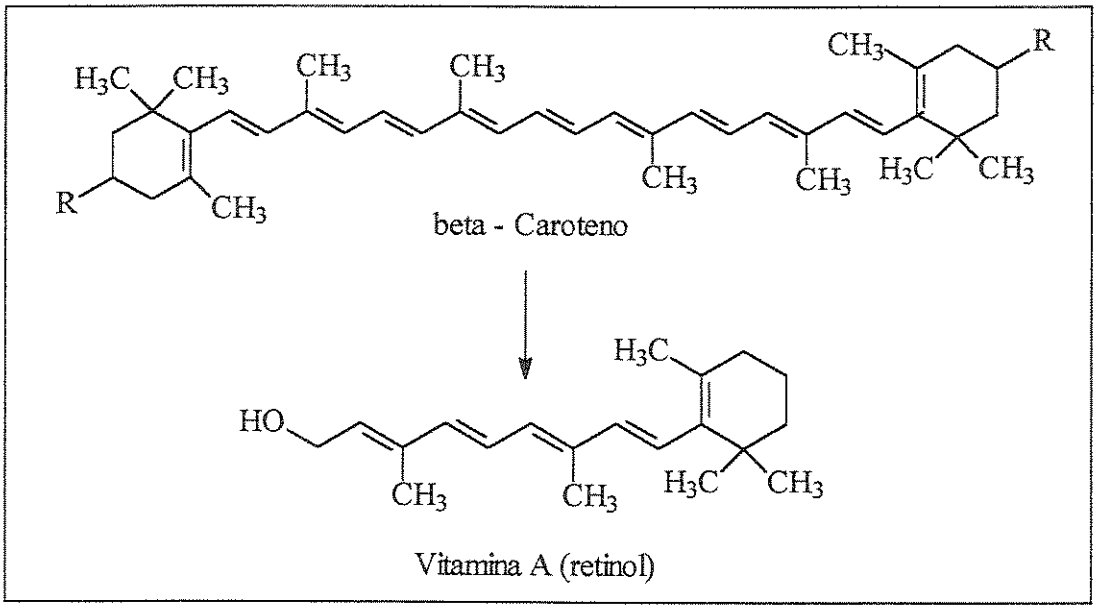


Como pode ser observado na figura **9**, o α e o β-caroteno, a luteína, a zeaxantina e o licopeno só possuem ligações *C=C* conjugadas, portanto os comprimentos de onda máximos que absorvem se referem à transição *HOMO-LUMO* entre $\pi \rightarrow \pi^*$. Já a bixina possui ligações *C=C* conjugadas com ligações *C=O*, portanto possuem elétrons não compartilhados e o *HOMO* corresponde a um orbital molecular ***n***. Estes compostos

absorvem luz de comprimentos de onda na faixa de *480* até *510 nm*, correspondendo aos comprimentos de onda curtos do espectro eletromagnético da região do visível. Por isto, como a energia que não é absorvida é refletida, estes compostos refletem os comprimentos de onda da luz do visível médios e longos, que possuem menor energia. Este somatório dos comprimentos de onda refletidos entra nos nossos olhos e ativa os cones sensíveis para o verde e para o vermelho, por isto observamos tonalidades de cores que vão do amarelo ao vermelho para estes compostos.

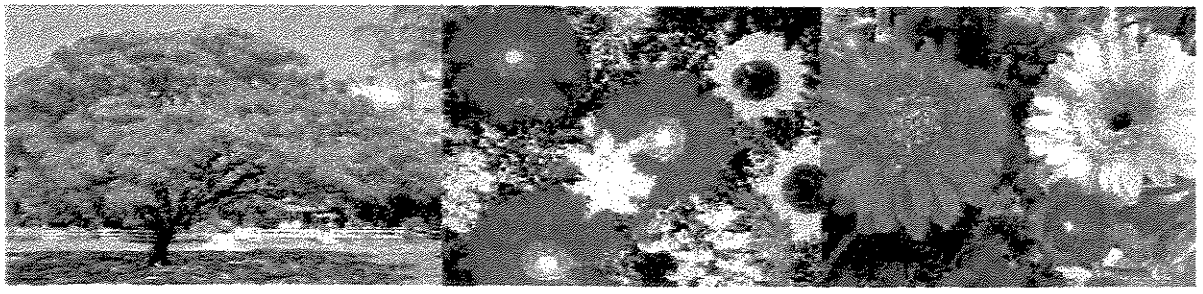
Dentre estes compostos, um que nos é fundamental é o β-caroteno, pois quando ingerido é convertido, enzimaticamente, em vitamina A. Esta vitamina, por sua vez, é transformada, nos cones e bastonetes, em 11-cis-retinal, que é fundamental no processo de visão. Na figura **10** está ilustrada a conversão do β-caroteno à vitamina A.[6, 11]

Figura 10- Representação da conversão do β-caroteno à vitamina A.



Os flavonóides, assim como os carotenóides, são pigmentos naturais responsáveis pelas variadas sensações de cor que temos ao observar flores, frutos, raízes, sementes e folhas da maioria dos vegetais, possuindo a função de protegê-los contra a luz, insetos, fungos, vírus e bactérias. As lindas cores que enxergamos para as plantas representadas na figura **11** são devidas aos flavonóides que elas contêm.[13-16]

Figura 11- Fotos de algumas flores ricas em flavonóides.



Estas substâncias também possuem outras funções importantes, pois são controladores dos hormônios vegetais e são responsáveis por atrair os animais que fazem a polinização e, por isso são importantes para a reprodução das plantas. Estas moléculas são poderosos antioxidantes, por isto, têm atraído a atenção de muitos pesquisadores para usá-las na nutrição preventiva, pois da mesma forma que protegem os vegetais, podem contribuir para a prevenção de importantes patologias, como câncer, inflamações, alergias, úlceras, dentre outras. Além disso, são utilizados pela industria alimentícia, como corantes, aromatizantes e antioxidantes.[14-16]

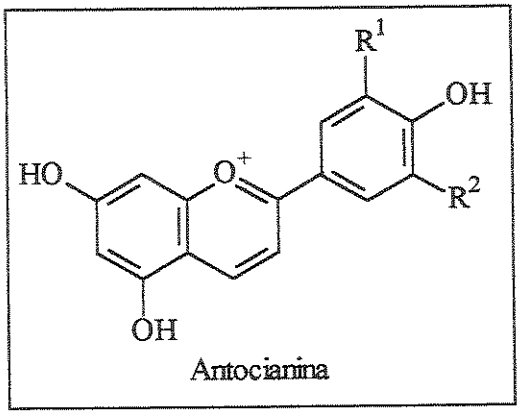
O termo flavonóide engloba um grupo de compostos polifenólicos. A classe mais importante e de destaque dentre estes compostos é a das antocianinas. Estas moléculas estão presentes em várias frutas, flores e folhas, e absorvem luz da faixa de *520* a *560 nm*. A combinação dos comprimentos de onda refletidos resulta em cores que variam do vermelho ao violeta, pois como absorvem comprimentos de onda médios da luz visível, ativam os cones sensíveis aos comprimentos de onda curtos e longos, como os sensíveis ao azul e os sensíveis ao vermelho. Os exemplos de antocianina, suas fontes, substituintes e comprimentos de onda máximos de absorção estão na tabela **2**.[6,13-16]

Tabela 2- Exemplos de antocianinas, suas fontes, substituintes e comprimentos de onda máximos de absorção.

Antocianina	*Fonte*	*Substituinte R^1*	*Substituinte R^2*	$\lambda_{máx}$ *(nm)*
Pelargonidina	Morango	H	H	520
Peonidina	Cereja, jabuticaba, uva e vinho	OCH_3	H	525
Cianidina	Cereja, uva, vinho, morango, repolho roxo e amora	OH	H	535
Malvidina	Uva e vinho	OCH_3	OCH_3	540
Delfinidina	Berinjela	OH	OH	545
Petunidina	Uva e vinho	OH	OCH_3	545

As estruturas das antocianinas variam somente em função dos seus substituintes, as estruturas dos compostos mencionados na tabela **2** estão especificados na figura **12**.[14-16]

Figura 12- Estruturas das antocianinas.



Antocianina

Através dos dados da tabela **2** podemos observar que quando as *antocianinas* são substituídas por grupos doadores de elétrons para o anel aromático, tal como o ***–OH***, cujos

elétrons fazem ressonância como o anel aromático, os comprimentos de onda máximos de absorção aumentam. Portanto, a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO* diminui e nossos olhos detectam estas pequenas variações, e enviam mensagens ao cérebro que as percebem como cores com tonalidades diferentes.

Além disso, muitos destes flavonóides podem mudar de cor de acordo com o pH do meio em que estão e, devido a esta propriedade são utilizados como indicadores ácido-base. Na figura **13** podemos observar alguns dos possíveis equilíbrios para esta antocianina em função do pH do meio.[17]

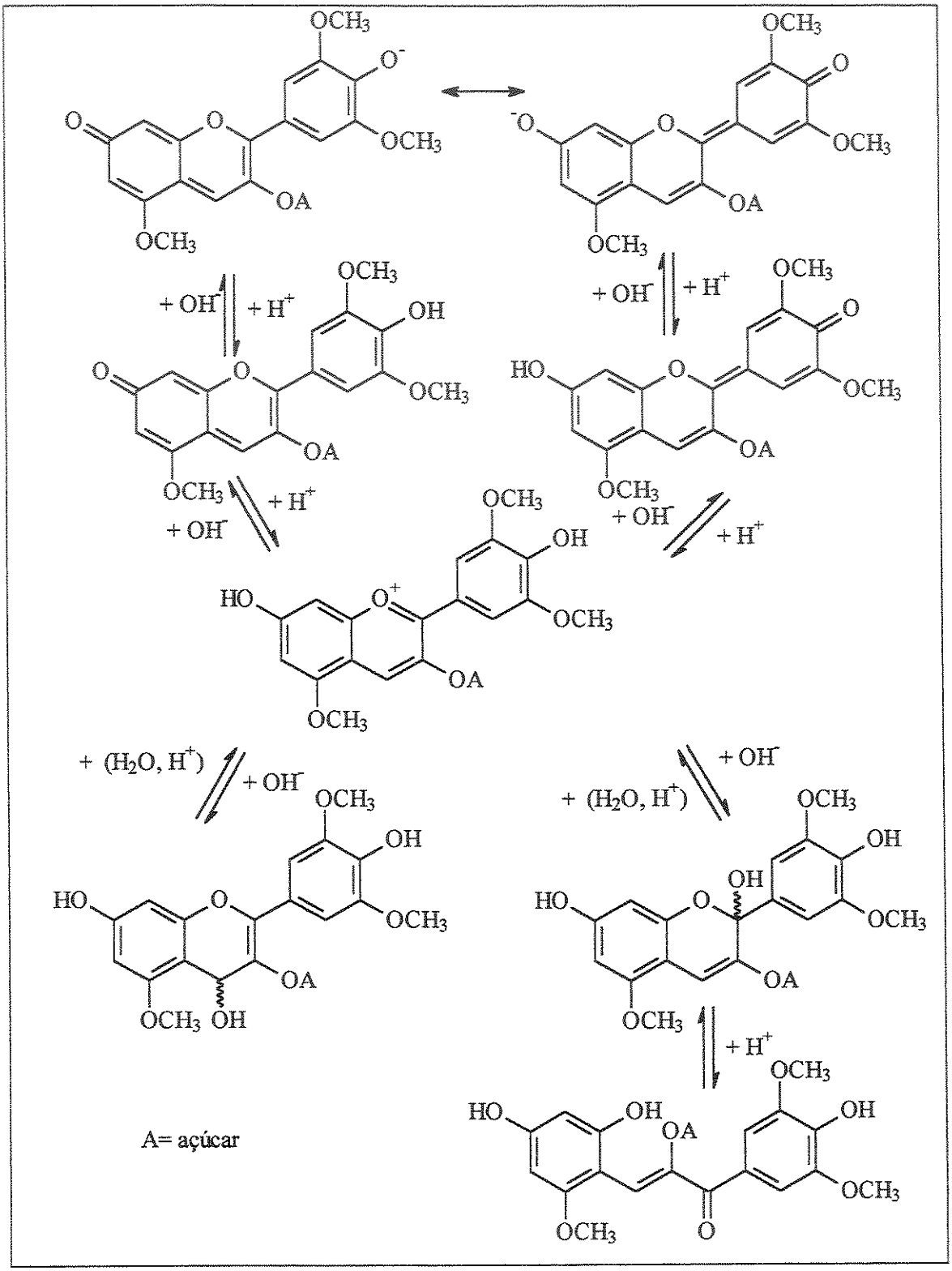
Em meio ácido (pH = 1) podemos ter a sensação de vermelho escuro ao observar este composto, esta sensação vai diminuindo com o aumento do pH, tanto que em pH = 3 o vermelho observado para o composto é bem mais claro enquanto que em pH = 5, o composto fica quase incolor. A partir de pH = 6 começamos a enxergar tons de azul para este composto e quando o pH tem um valor de 12 a cor que enxergamos é um azul-violeta bem escuro.[17]

A cor vermelha que enxergamos significa que ele está absorvendo os comprimentos de onda de maior energia, neste caso, principalmente, o violeta e o azul e refletindo o de menor energia, ou seja, em pH ácido as estruturas predominantes são as que apresentam um menor número de elétrons deslocalizados. Por outro lado, em pH>6 há a formação de estruturas com um maior número de elétrons deslocalizados no equilíbrio que absorvem luz da região do visível com comprimentos de onda de menor energia, correspondendo ao vermelho, por isto em meio básico as antocianinas refletem os comprimentos de onda de maior energia do visível correspondendo ao azul e violeta.[17]

A clorofila, os carotenóides e os flavonóides são os compostos encontrados nos vegetais. Estes compostos, como absorvem luz da região do visível e também do ultravioleta, protegem os vegetais. Muitos deles têm importância industrial, pois são utilizados em cosméticos e alimentos.

Na próxima parte do texto discutiremos alguns dos milhares de compostos que causam sensações de cores e que foram desenvolvidos pelo homem. Estes compostos possuem as mais diversas aplicações, incluindo todos os tipos de tintas.

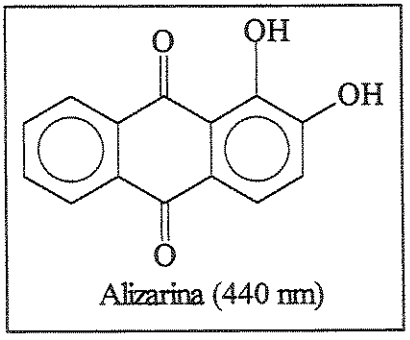
Figura 13 – Possíveis equilíbrios de antocianina em função da acidez ou basicidade do meio.



- **Moléculas que causam sensações de cor desenvolvidas pelo homem**

Muitos são os compostos desenvolvidos pelo homem que absorvem e refletem luz da região do visível, causando, conseqüentemente, uma sensação de cor. Alguns deles foram inspirados na natureza... Por exemplo, as quinonas, uma ampla classe de compostos que enxergamos como coloridos e que, por isto, são utilizadas em vários tipos de tintas, possuem estruturas similares à da alizarina (figura **14**) que foi encontrada em diversos objetos na antiguidade, e desde este período continuou a ser utilizada ao longo dos séculos. A alizarina é uma substância que enxergamos como vermelho, sendo extraída de plantas do gênero *Rubia*, tais como *Rubia tincturum* e *Rubia cordifolia*, originadas da Europa.[18,19]

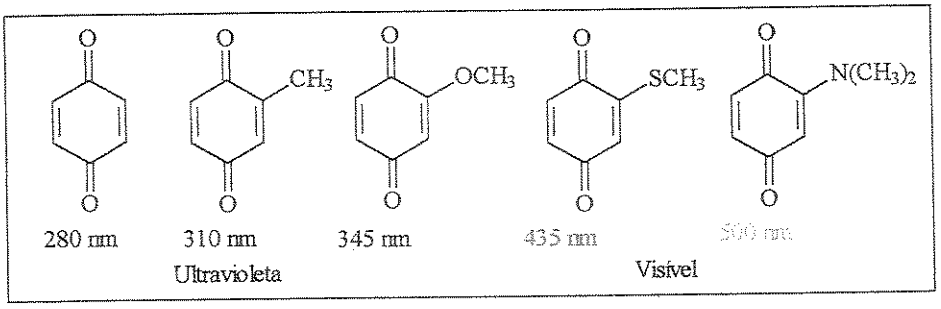
Figura 14- Estrutura da Alizarina.



Alizarina (440 nm)

Existem muitos outros compostos que, atualmente, são utilizados como corantes e pigmentos nas mais diversas industrias, e que possuem estruturas similares à da alizarina. Dentre eles podemos citar os derivados da *p*-benzoquinona, que quando não está substituída possui o comprimento de onda referente à absorção máxima em *280 nm*, que está na região do ultravioleta, por isto não causa sensação de cor. Porém, quando são introduzidos substituintes como os grupos $-CH_3$, $-OCH_3$, $-SCH_3$, $-N(CH_3)_2$, formam-se derivados que absorvem na região do visível, conforme ilustrado na figura **15**.[3,20]

Figura 15- Estruturas da *p*-benzoquinona e de seus derivados.



A partir da figura **15**, observamos que quando a p-benzoquinona é substituída por um grupo $-CH_3$, há um aumento no comprimento de onda máximo de absorção, pois este grupo apresenta um efeito indutivo doador de densidade eletrônica ao anel da p-benzoquinona. Portanto, este anel fica mais rico em elétrons e, conseqüentemente, a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO* diminui. Mas, o composto substituído continua absorvendo luz na região do ultravioleta e é, por isto, que ele nos parece incolor.

Quando os grupos são doadores de elétrons por ressonância, este efeito é acentuado; a p-benzoquinona pode passar a absorver no visível e nós podemos detectar esta modificação, pois enxergamos estas moléculas como coloridas, como é o caso de quando está substituída com grupos $-SCH_3$ e $-N(CH_3)_2$.

O grupo $-OCH_3$ também é um grupo doador de elétrons por ressonância, porém como o enxofre é maior do que o oxigênio e menos eletronegativo, os elétrons de valência estão em orbitais mais afastados, o que faz com que sejam mais facilmente deslocalizados e, portanto, o grupo $-SCH_3$ é um melhor grupo doador de densidade eletrônica, o que faz com que o derivado substituído com este grupo absorva luz com um maior comprimento de onda.

Comparando-se o composto que possui o grupo $-N(CH_3)_2$ com o que possui o $-OCH_3$, há uma diferença considerável em termos de comprimento de onda; isto pode ser explicado pela maior eletronegatividade do oxigênio em relação ao nitrogênio. Como o nitrogênio é menos eletronegativo, seus elétrons estão mais envolvidos na deslocalização do que os elétrons do oxigênio, além disso, o $-CH_3$ exerce o efeito indutivo doador de elétrons.

Os derivados da p-benzoquinona substituídos com $-SCH_3$ e $-N(CH_3)_2$ absorvem energia de comprimentos de onda de *435 nm* e *500 nm* para a transição entre o *HOMO* e o *LUMO*. Como neste sistema há ligações conjugadas entre *C=C* e entre *C=O*, o orbital molecular preenchido de maior energia (*HOMO*) é um orbital ***n*** e o *LUMO* corresponde a um orbital π^*.

Pode-se verificar, nestes compostos que não é preciso ter um grupo tão extenso de ligações múltiplas conjugadas, se um substituinte doador de elétrons por ressonância for adicionado no sistema conjugado. Estes compostos absorvem luz de comprimentos de onda curto, como o derivado da p-benzoquinona substituído com $-SCH_3$, que absorve em *435 nm*, por isto reflete os comprimentos de onda médios e longos, como resultado ativa os cones sensíveis ao verde e ao vermelho, resultando na sensação de amarelo. Já o derivado que possui o $-N(CH_3)_2$ como substituinte absorve comprimentos de onda médios, mas também pode absorver os comprimentos de onda curtos para as outras transições que necessitam de menor energia para ocorrer. Portanto reflete energia com comprimentos de onda longos, sendo captadas pelos cones sensíveis ao vermelho, causando esta sensação de cor.

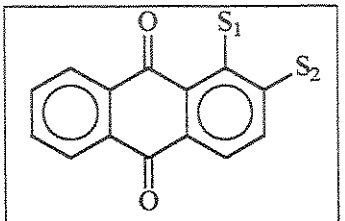
Além dos derivados da p-benzoquinona, muitos outros compostos com estruturas semelhantes absorvem e refletem luz com comprimentos de onda da região do visível, causando no nosso cérebro a sensação de cor. Dentre eles podemos citar a antraquinona, que quando não está substituída absorve luz com comprimento de onda de *405 nm* para que seus elétrons sejam deslocados do *HOMO* para o *LUMO*; portanto, absorve luz de alta energia, próxima da região do ultravioleta e refletem os outros comprimentos de onda, ativando, assim os cones sensíveis ao verde e ao vermelho, por isto a percebemos como amarela.[2,20-25]

Neste caso, a transição eletrônica ocorre entre $n \rightarrow \pi^*$. Para que a transição eletrônica entre $\pi \rightarrow \pi^*$ ocorra, a antraquinona absorve luz com comprimento de onda de *325 nm*, que está na região do ultravioleta. O comprimento de onda de absorção da antraquinona, assim como discutimos para a p-benzoquinona, pode variar em função dos substituintes presentes na molécula, como no exemplo da tabela **3**, onde os substituintes são colocados nas posições *1* e *2*, conforme a figura **16**.[3]

Tabela 3- Valores dos comprimentos de onde máximo de absorção das antraquinonas em função dos substituintes e de sua posição.[3]

Substituinte	*Posição 1/$\lambda_{máx}$ (nm)*	*Posição 2/$\lambda_{máx}$ (nm)*
OCH_3	360	380
OH	370	400
NH_2	440	475
$NHCH_3$	460	505
$N(CH_3)_2$	470	505

Figura 16- Estrutura de uma antraquinona substituída nas posições *1* e *2*.



Antraquinona

A partir dos dados da tabela **3** podemos observar que as posições dos grupos também influenciam na sensação de cor que a molécula causa. Para estes compostos observamos que quando há um substituinte na posição *1*, que contém pelo menos um hidrogênio ligado a um átomo eletronegativo, como o oxigênio ou o nitrogênio, este pode fazer uma ligação de hidrogênio com o oxigênio da carbonila.[3]

Esta ligação não ocorre quando o grupo está na posição *2*, porque ele fica muito distante da carbonila. Ela estabiliza a molécula e faz com que a deslocalização eletrônica seja menos efetiva, conseqüentemente, a diferença de energia entre o *HOMO* e o *LUMO* é maior, portanto para realizar a transição eletrônica há absorção luz com um menor comprimento de onda. A existência da ligação de hidrogênio inibe a rotação ao redor do eixo da ligação *C-O*, por isto, o par não consegue entrar em conjugação com o sistema, pois não está mais no mesmo plano. Observamos este efeito para os compostos com os

substituintes *-OH*, *-NH_2* e *-$NHCH_3$*, que quando estão na posição *1* absorvem luz com comprimentos de onda menores do que quando estão na *2*.[3]

Os compostos que possuem substituintes nitrogenados possuem maior absorção que os compostos que possuem substituintes oxigenados. Já observamos este efeito para os compostos derivados da p-benzoquinona. Como o oxigênio é mais eletronegativo que o nitrogênio, os elétrons do nitrogênio estão mais deslocalizados do que os do oxigênio. Para os compostos que possuem nitrogênio como substituintes, podemos observar que a absorção aumenta como a metilação, isto se deve ao grupo metila ter um efeito indutivo doador de densidade eletrônica.

Os derivados da antraquinona com susbtituintes *-OCH_3* absorvem luz na região do ultravioleta, por isto são transparentes. O derivado substituído com *-OH* na posição *1*, também absorve luz do ultravioleta, devido às ligações de hidrogênio. Porém, quando este substituinte está na posição *2*, o composto passa a absorver no visível (*400 nm*), mas como a luz absorvida é muito energética, todos os outros comprimentos do visível são refletidos, ativando os cones sensíveis ao verde, ao azul e ao vermelho e a sensação de cor causada é a de amarelo-esverdeado.

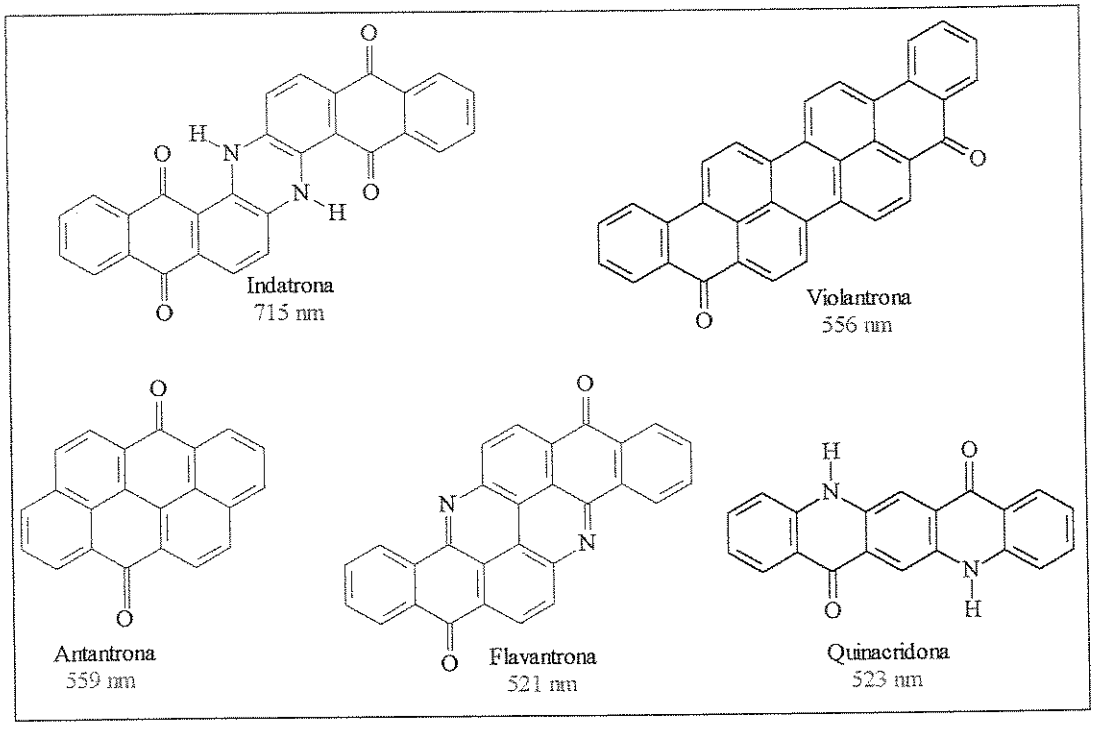
O mesmo efeito é observado para os compostos que contêm substituintes como o *-NH_2*, *-$NHCH_3$* e *-$N(CH_3)_2$* na posição *1*; para estes compostos quanto menor a probabilidade do substituinte fazer ligações de hidrogênio com a carbonila, maior o comprimento de onda que será absorvido. Portanto, como o *-$N(CH_3)_2$* não faz ligações de hidrogênio, seus compostos absorvem com os maiores comprimentos de onda, assim o composto que absorve em *470 nm*, com o substituinte na posição *1*, pode também absorver os comprimentos de onda da luz visível mais curtos, refletindo os mais longos e ativando os cones sensíveis ao verde e ao vermelho, como resultado desta combinação, há a sensação de amarelo. Quando o composto tem este substituinte na posição *2*, absorve luz com comprimentos de onda de *505 nm*, refletindo, assim, os outros comprimentos de onda mais longos, ativando, principalmente, os cones sensíveis ao vermelho, por isto enxergamos a cor púrpura para ele.

O composto com o substituinte *-NH_2* na posição *1* ou na *2*, absorvem luz com comprimentos de onda curtos de *440 nm* e *475 nm*, respectivamente, e por isto reflete os de comprimento de onda médio e longo, também ativando os cones sensíveis ao verde e ao

vermelho, causando no cérebro a sensação de cor amarela. O mesmo fenômeno é observado para os compostos com o substituinte *-$NHCH_3$* na posição *1*, que absorvem luz de comprimentos de onda de *460 nm*, causando a sensação de amarelo. Já quando o substituinte está na posição *2*, não há mais ligações de hidrogênio entre o substituinte e a carbonila, portanto o composto absorve energia com comprimento de onda de *505 nm*, causando a sensação púrpura.

Existem muitas outras moléculas que fazem parte do grupo das quinonas, tais como as ilustradas na figura **17**. Podemos observar nesta figura que todas absorvem luz da região do visível, portanto são percebidas como coloridas.[2, 19-23]

Figura 17- Estruturas dos derivados da antraquinona.



Além disso, os comprimentos de onda de absorção destes compostos variam conforme o número de ligações múltiplas conjugadas. A antrantrona, a flavantrona, a quinacridona, a vilantrona, refletem a cor púrpura, mas como absorvem em diferentes comprimentos de onda, *559 nm*, *521 nm*, *523 nm*, *556 nm,* respectivamente, possuem tonalidades de cores diferentes. A indantrona possui comprimento de onda de absorção de *715 nm*, por isto reflete luz de comprimentos de onda curtos e médios, ativando os cones

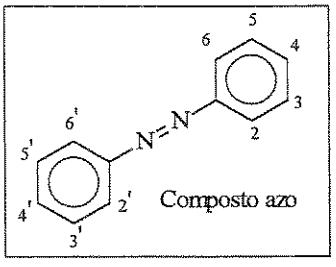
sensíveis ao verde a ao azul, por isto percebemos a cor verde-azulada. Estes compostos são estáveis e são muito utilizados como corantes e pigmentos, principalmente, nas indústrias de tintas arquitetônicas, automobilística e de impressão.[20-25]

Além destes compostos, outros que também são muito utilizados nas indústrias são os compostos azo, que se caracterizam por possuir o grupo *N=N*. Os comprimentos de onda de absorção máxima para os compostos azo variam conforme os substituintes e as posições destes nos anéis aromáticos, como pode ser observado na tabela **4** e na figura **18**.[3,20-24]

Tabela 4- Dados sobre as posições dos substituintes, comprimento de onda absorvido e a sensação de cor observada para alguns compostos azo.[3,20]

Substituinte/Posição	***Substituinte/Posição***	$\lambda_{máx}$ ***(nm)***	***Sensação de cor***
H	H	320	Incolor
OH/2	OH/2'	400	Amarelo
NH_2/2	NH_2/2'	450	Amarelo
NH_2/2	H	415	Amarelo
OH/4	OH/4'	430	Amarelo

Figura 18- Estrutura básica de um composto azo.



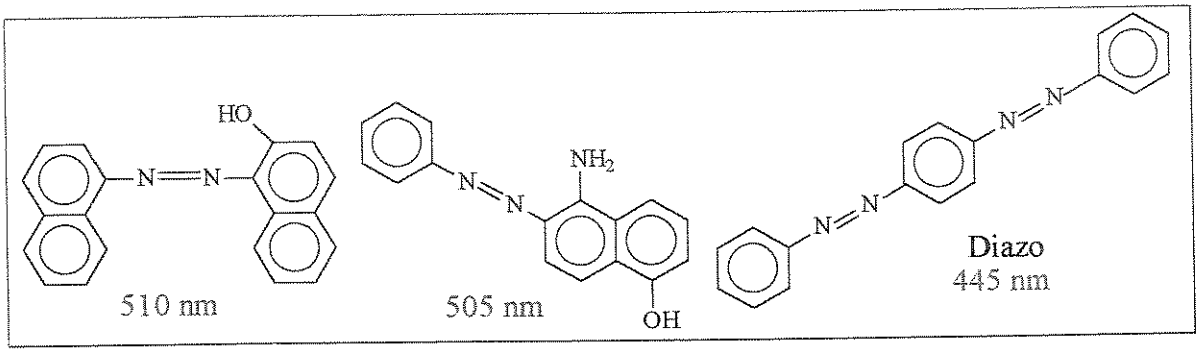
Composto azo

A partir da tabela **4** podemos observar que um composto azo que não é substituído não absorve luz na região do visível, por isto é percebido como transparente. Mas, quando são inseridos substituintes como o *-NH_2* ou *-OH*, estes compostos absorvem luz com baixos comprimentos de onda, ou seja, com alta energia, mas que estão na região do visível. Por isto, refletem luz com comprimentos de onda médios e grandes, ativando os cones sensíveis

ao vermelho e ao verde, por isto percebemos a cor amarela. Cada composto causa uma sensação diferente, já que absorve em comprimentos de onda diferentes.

Assim como para os outros compostos já discutidos, quando inserimos anéis aromáticos aos compostos azo, aumentam-se o número de ligações múltiplas conjugadas, portanto, menor é a diferença de energia entre os orbitais de fronteira e, conseqüentemente, maior o comprimento de onda de absorção. Alguns exemplos de compostos azo que possuem mais anéis aromáticos conjugados estão ilustrados na figura **19**.[2,4,20-24]

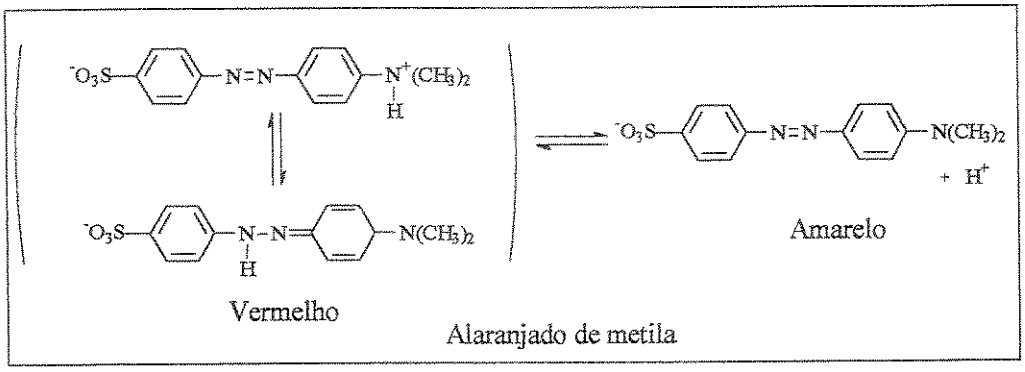
Figura 19- Estruturas de outros compostos azo.



Para estes compostos é observado o mesmo efeito que para os outros compostos já discutidos, ou seja, quanto maior a conjugação, mais elétrons estão deslocalizados, menor a diferença de energia entre os orbitais *HOMO* e *LUMO*, maior o comprimento de onda de absorção. Como estes compostos absorvem luz de comprimentos de onda de *445 nm*, *505 nm* e *510 nm*, a luz refletida tem longos comprimentos de onda da região do visível, o que ativa os cones sensíveis ao verde e ao vermelho, fazendo com que estes compostos sejam percebidos como amarelo-alaranjados. Os compostos azo possuem muitas aplicações industriais, pois são responsáveis pelas cores de automóveis, tintas, alimentos e tecidos.[21-25]

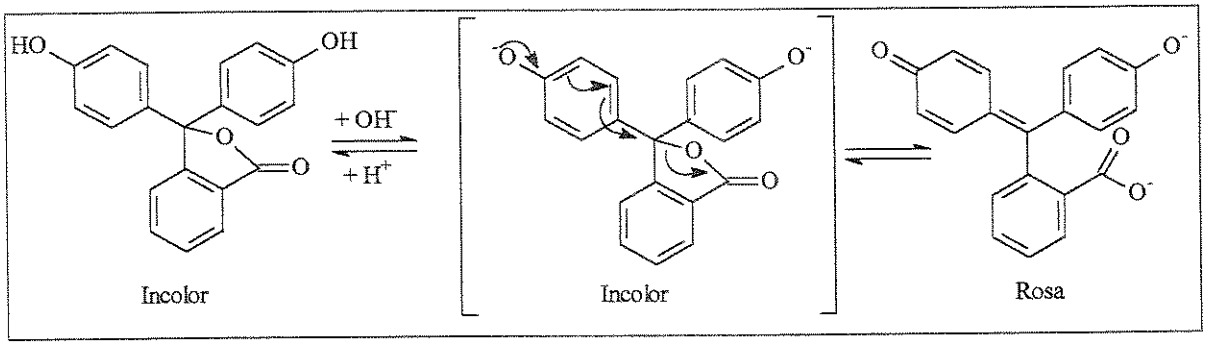
Existem compostos azo que também podem ser utilizados como indicadores, pois a sensação de cor que eles causam muda conforme o pH do meio em que estão. Um exemplo que pode ser dado é o do alaranjado de metila, que causa a sensação de vermelho em pH menor que 3,4 e de ser amarela em pH maiores que este. Na figura **20** são ilustrados os equilíbrios para o alaranjado de metila de acordo com o pH do meio.[26]

Figura 20- Equilíbrios do alaranjado de metila de acordo com as variações de pH do meio.



Além das antocianinas e do alaranjado de metila podemos citar a fenolftaleína, uma substância policíclica e, que talvez seja um dos indicadores mais utilizados. Em meio básico, a fenolftaleína possui cor rosa (ponto de viragem pH = 8,3), mas em meio ácido é incolor, de acordo com os equilíbrios observados na figura **21**.[3,17,27]

Figura 21 – Representações dos equilíbrios da fenolftaleína de acordo com a variação do pH do meio.



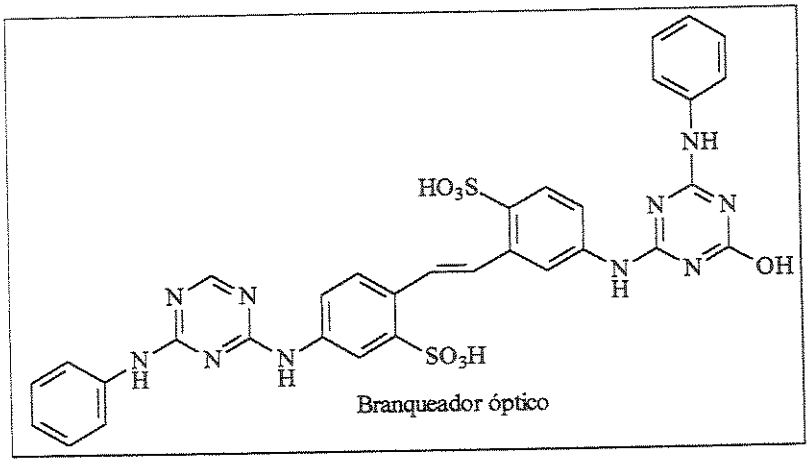
Em soluções com pH menores que 8,3 a estrutura que predomina não tem coplanaridade entre os anéis aromáticos, por isto não ocorre a conjugação entre os elétrons π desses anéis. Desta forma, a energia necessária para que ocorram as transições eletrônicas corresponde à absorção de luz de *229 nm* e *276 nm*, ou seja, da região do ultravioleta, por isto percebemos este composto como incolor.

Contudo, quando aumenta-se o pH, remove-se o proton fenólico e há um rearranjo estrutural o que faz com que os aneis aromáticos fiquem coplanares, deixando os elétrons π altamente conjugados, diminuindo, assim, a diferença de energia entre orbitais ligantes e antiligantes. Por isto, a fenolftaleína em pH > 10 absorve luz com um comprimento de onda máximo de *552 nm*, da região do visível, conseqüentemente, a enxergamos como colorida, neste caso, rosa.[3,16]

Uma outra aplicação interessante de compostos com intensa deslocalização eletrônica é a de branqueador óptico, também chamado de alvejante químico, e que pode apresentar grupos carboxílicos, azometino ou etilênicos, ligados a anéis benzênicos e seus derivados.[27]

O composto ilustrado na figura **22** é um exemplo de branqueador óptico. Este composto mascara a cor amarelada característica das fibras, pois proporcionam reflexão por fluorescência na região de *430 nm* a *440 nm* quando excitados por luz ultravioleta. Os branqueadores ópticos são muito utilizados em materiais de limpeza como alvejantes e sabões em pó, além de serem corantes de tecidos e papel.[27]

Figura 22- Estrutura de um composto utilizado como branqueador óptico.

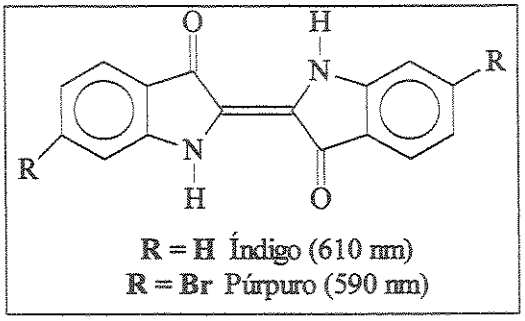


Branqueador óptico

Existem muitos outros compostos que nos causam sensações de cor. Um exemplo de um composto utilizado para conferir cores utilizado desde a antiguidade é o do índigo e do púrpuro de Tiro, sendo que enxergamos as cores azul e lilás, respectivamente, para estes compostos. O índigo era extraído de plantas do gênero *Indigifera* e *Isatis*, conhecidas na

Índia, Egito, Roma, Inglaterra e no Peru e o púrpuro era extraído do caramujo *Murex brandaris*, abundante no Mediterrâneo oriental. Estes compostos possuem estruturas similares, tal como pode ser observado na figura **23**.[3,18]

Figura 23- Estruturas do índigo e do púrpuro.



R = H Índigo (610 nm)
R = Br Púrpuro (590 nm)

O índigo representa uma grande classe de compostos que possuem aplicações como corantes e pigmentos. Nestes compostos também podemos observar que uma simples mudança no substituinte do anel aromático, muda, consideravelmente, os comprimentos de onda da luz que o composto é capaz de absorver.

Para medir os comprimentos de onda de absorção de uma molécula, foi desenvolvido um aparelho denominado espectrofotômetro ultravioleta-visível. Nestes aparelhos, incide-se luz de comprimentos de onda do visível e ultravioleta numa amostra do composto. O composto utiliza a energia da luz para realizar transições eletrônicas e o comprimento de onda que o composto absorveu, bem como sua intensidade de absorção, são registrados em gráficos.[28,29]

Estes aparelhos são muito úteis para identificarmos as moléculas, já que cada uma delas produz um espectro característico. São através destes dados, que distinguimos quais são as transições eletrônicas que ocorrem e quais são os comprimentos de onda do visível que são absorvidos. Conseqüentemente, podemos prever os que são refletidos, que são aqueles que são captados pelos nossos fotorreceptores.[28,29] Desta forma, é possível entender quais são os comprimentos de onda refletidos pelas diversas moléculas e, conseqüentemente, quais são as sensações de cores que causam no nosso cérebro.

• Considerações finais

Este texto é complementar ao apresentado no capítulo anterior, *"Visão, Luz e Cores"*, onde discutimos exemplos de moléculas, tanto presentes na natureza quanto daquelas sintéticas, que causam a sensação de cor.

Foram apresentadas moléculas como melanina, clorofila, carotenóides, flavonóides, derivados das quinonas e compostos azo, que são alguns exemplos de compostos que causam a sensação de cor e que estão presentes no nosso cotidiano e que possuem importância biológica e/ou industrial. Para todos estes compostos são ilustrados os maiores comprimentos de onda de absorção, onde o professor pode estabelecer uma relação entre a espectroscopia ultravioleta-visível com a teoria do orbital molecular. Desta forma, este texto pode ser utilizado em aulas de química analítica.

As discussões sobre os efeitos dos substituintes para os compostos azo e derivados da quinona pode complementar as aulas de química orgânica onde se discute os efeitos dos substituintes em anéis aromáticos e outros compostos. Freqüentemente, nos livros disponíveis para esta disciplina, são ilustrados os efeitos dos substituintes relacionados com a orientação preferencial que o substituinte teria em um anel aromático. Este texto estabelece uma relação entre este efeito e a cor, por isto poderia ser utilizado para complementar esta discussão. Também poderia ser utilizado em aulas de bioquímica, onde se enfatizam a fotossíntese e a importância dos pigmentos nos vegetais.

CAPÍTULO 4

"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"

Por que há vida na Terra? Por que sentimos frio ou calor? Como a temperatura ambiente é regulada? Por que no deserto faz calor durante o dia e frio à noite? Por que a temperatura interna do nosso corpo não deve variar? Por que não entramos em equilíbrio térmico com o ambiente, como acontece com outros animais como os répteis? Você pode perceber que muitas perguntas podem ser feitas quando o assunto é temperatura! Por isto, para sabermos o que ocorre com nosso corpo, para entendermos as sensações de frio ou calor, precisamos primeiro analisar a temperatura do planeta e a do ambiente em que estamos.

A Terra é só mais um dos planetas dentre os muitos que existem no espaço. Mas, ela é importante e incrivelmente especial, porque aqui há vida! Não se sabe se existem formas de vida nos outros planetas, mas algumas das razões para que aqui tenha vida são as constituições químicas da superfície e da atmosfera, e a sua posição em relação ao sol. Estes fatores propiciaram condições de temperatura, pressão e a existência dos elementos químicos adequados para formar os constituintes das células.[1]

Acredita-se que os gases que formavam a atmosfera, as variações nas condições climáticas, a composição dos oceanos, combinados com a radiação extremamente energética vinda do sol, fez com que, de um mar de substâncias simples, tenham surgido os primeiros aminoácidos, que se combinaram para formar as primeiras proteínas, que deram origem a primeira célula. Estima-se que isto ocorreu a aproximadamente 3,5 bilhões de anos, mas somente 1,5 bilhões de anos depois é que surgiram os primeiros organismos fotossintetizantes, que aproveitam a energia do sol para, a partir de dióxido de carbono e água, produzir carboidratos e oxigênio.[1,2]

Durante a evolução da terra as composições da sua atmosfera mudaram muito. Atualmente, ela é, praticamente, composta por gases como nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), o 1% restante é formado por argônio (0,9%), dióxido de carbono (0,3%), vapor de água, hidrogênio, ozônio, metano, monóxido de carbono, hélio, neônio, criptônio, xenônio e outros gases emitidos pelo homem, através da industrialização e de outros processos.[2,3]

O oxigênio da atmosfera é importantíssimo para a vida, pois nós, assim como os outros animais, o utilizamos para respirar! Ele é produzido, principalmente, pelas plantas, a partir da fotossíntese, onde a clorofila tem um papel fundamental. Como a clorofila possui um extenso arranjo de elétrons π deslocalizados, ela consegue absorver a luz solar de comprimentos de onda das regiões do ultravioleta e do visível para que seus elétrons realizem transições eletrônicas.* Desta forma, capta a energia que é utilizada pela planta para fazer a fotossíntese, ou seja, produzir o oxigênio que nós respiramos.[4]

O oxigênio (O_2) expelido pela planta é um dos principais constituintes da atmosfera e também é utilizado para produzir o ozônio (O_3). O ozônio, por sua vez, absorve a radiação eletromagnética emitida pelo sol com comprimentos de onda menores que *320 nm*. Isto é fundamental para a vida, pois como esta radiação é muito energética, se chegasse até nós destruiria nossos tecidos, assim como os dos outros animais e plantas. Portanto, se não houvesse uma molécula na atmosfera que absorvesse esta radiação, não seria possível existir as formas de vida que aqui se encontram.[3,5]

Atualmente, devido à diminuição da quantidade de ozônio na atmosfera, estamos recebendo a radiação energética da região do ultravioleta, o que pode por em perigo a vida! Esta radiação nos é prejudicial, pois a melanina da nossa pele, que absorve radiação do ultravioleta e do visível, não está conseguindo nos proteger desta radiação. Por isto, torna-se cada vez mais necessário sintetizar moléculas que absorvam radiação com comprimentos de onda do ultravioleta, como as utilizadas em protetores solares**.[6]

Porém, a atmosfera não é somente importante para filtrar a radiação ultravioleta; outra das suas funções principais é a de manter o balanço de calor da terra, pois se isto não fosse feito, estima-se que a temperatura do planeta seria menor que 0°C, portanto, a água da superfície estaria toda congelada, o que também tornaria impossível à existência de vida aqui. Alguns gases presentes na atmosfera podem absorver a radiação da região do infravermelho, por isto, nem toda radiação do infravermelho que é emitida pela superfície da terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Logo após sua absorção por moléculas como os gases que realizam o efeito estufa, ela é reemitida em todas as direções, de modo aleatório. Deste modo, uma parte da radiação da região do infravermelho é

---

* Ver *"Moléculas e Sensações de Cor"*, páginas 75 e 76.
** Ver "Moléculas e Sensações de Cor", páginas 73 e 74.

direcionada de volta à superfície, sendo reabsorvida, e, conseqüentemente, provocando um aquecimento adicional tanto da superfície como do ar. A esse fenômeno de redirecionamento ou desvio da radiação do infravermelho em direção a terra dá-se o nome de efeito estufa.[3,5,7]

O efeito estufa é benéfico e natural! No entanto, nos últimos 150 anos, devido aos processos de industrialização, aumentou-se a emissão de gases como dióxido de carbono, os clorofluorcarbonetos (CFC's) e metano, que aumentam ainda mais este efeito, o que pode levar a um aumento na temperatura global da Terra. Isto pode trazer conseqüências graves para o nosso planeta como o derretimento das geleiras, aumentando o nível do mar, fazendo desaparecer muitas ilhas e diminuir a área terrestre dos litorais. Devido às mudanças climáticas causadas pelo aumento do efeito estufa, bem como outros problemas de degradação da Terra, muitos acordos recentes estão sendo feitos, por meio dos quais, países do mundo inteiro estão se unindo para enfrentar esses desafios.[3,5,7]

A química da atmosfera é fundamental para a manutenção da vida na Terra! O modo como a atmosfera filtra, emite e reflete a radiação solar faz com que a exista uma temperatura adequada em nosso planeta, que propicia a existência das formas de vida que conhecemos. No entanto, observamos que a temperatura na Terra não é igual e constante, pelo contrário, a temperatura no ambiente em que vivemos, ou seja, na superfície varia de acordo com os movimentos que a Terra faz!

A Terra está em constante movimento, tanto de rotação, quanto de translação, e estes movimentos influenciam o modo como a radiação solar chega às diferentes regiões da superfície da Terra. Assim, o movimento de rotação, que dura cerca de 24 horas, define o dia e a noite, já o movimento de translação, que dura cerca de um ano, define as estações do ano e os climas nas diferentes regiões da superfície da Terra. O clima de uma determinada região depende de vários elementos como a temperatura, a quantidade de chuvas, a umidade do ar, os ventos, as massas de ar e pressão.[8]

Esses elementos do clima sofrem a influência de vários fatores, como, por exemplo, a posição geográfica da região, a configuração do território, as altitudes, as latitudes, a proximidade do mar, a vegetação, dentre outros. Portanto, para saber se um determinado local está quente ou frio, existem vários fatores que devem ser levados em consideração. Assim, o clima é dinâmico e envolve uma infinidade de fatores e elementos, por isto, uma

classificação climática é somente uma tentativa de simplificar ou de tornar compreensíveis os complexos modelos climáticos existentes. O clima, então, pode ser definido como o efeito em longo prazo da radiação solar sobre a superfície e a atmosfera da Terra durante seus movimentos. Para interpretá-lo pode-se realizar medidas anuais ou sazonais, de temperatura e precipitações de água na forma de chuvas.[8,9]

Como se diferenciam os climas? O que diferencia as estações do ano? Por que em determinadas regiões da Terra o clima é extremamente quente e em outras é frio? Como a umidade influencia no clima? As zonas climáticas da Terra se diferenciam graças ao movimento de translação da Terra, ou seja, a maneira como a região é exposta ao calor do sol, de tal forma que não recebem a mesma proporção de radiação solar. Resumindo, isso leva à ocorrência de três grandes zonas climáticas no globo terrestre: a zona intertropical ou tropical, as zonas temperadas e as glaciais ou polares.[8,9]

Como a superfície da Terra é exposta de maneira diferente à radiação emitida pelo sol, existem regiões que estão mais distantes do sol e que tendem a receber menos radiação solar, como os pólos dos extremos norte e sul, que são limitados pelos círculos polares Ártico e Antártico. Essas regiões recebem os raios solares muito inclinados, insuficientes para aquecê-las, e por isso são muito frias, ocorrendo à formação de grandes geleiras e de neve.[9]

Por outro lado, a região que fica entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, possui um clima tropical, sendo a faixa mais quente da Terra. Além disso, observa-se que quanto mais próximo do Equador, maior é a temperatura do local, pois mais diretamente os raios solares atingem a Terra, sendo por isso a faixa mais quente e iluminada do planeta.[9]

As regiões localizadas entre os trópicos e os círculos polares possuem um clima chamado de temperado; como recebem os raios de sol mais inclinados, são menos aquecidas e iluminadas. Nessas zonas, as quatro estações do ano são facilmente observadas, pois cada uma apresenta características que as diferenciam nitidamente umas das outras.[9]

• O que isto tudo tem a ver com sensações?

O que a variação de temperatura da Terra tem ver com sensações? O que isto influencia na nossa vida? Tudo! Pois, a diferença de temperatura entre as diversas regiões

da Terra fez com que as pessoas se desenvolvessem de maneira diferente e desenvolvessem diferentes hábitos e costumes. Em cada região da Terra, existe uma determinada população, com uma determinada cultura e costumes, que são influenciados, dentre outros fatores, pela temperatura e pelo clima do local onde vivem. Por exemplo, os pólos, geralmente, são regiões desabitadas, mas sabe-se que alguns esquimós habitam estas regiões e que eles desenvolveram determinados hábitos para se adaptar a este clima. Da mesma forma, pessoas que habitam regiões quentes, como os índios que vivem na Amazônia, possuem hábitos característicos.

A temperatura influencia na concentração de pigmentos da pele e também os relógios biológicos de todos os seres vivos. Deste modo, o nosso organismo se organiza internamente para se ajustar às mudanças ambientais. A temperatura corporal, por exemplo, é influenciada pela temperatura ambiental e nos induz a diferentes comportamentos.

Nós tendemos a manter nossa temperatura corporal interna variando apenas dentro de um certo limite, em torno de 36°C a 37°C. Esta temperatura varia de acordo com o movimento de rotação da Terra, sendo levemente maior durante o dia.[10]

Quando a temperatura interna do nosso corpo está variando em torno de 36°C à 37°C, todos as funções biológicas estão perfeitamente coordenadas. Porém, se a temperatura interna tiver um valor maior que este, muitas enzimas, que são importantes catalisadores para todas as nossas reações biológicas, podem se desnaturar e, portanto, perder sua ação. Da mesma forma, se a temperatura corporal diminuir, o corpo também não estará completamente ajustado, pois as reações biológicas ocorrerão mais lentamente, pois quanto menor a temperatura, menor a velocidade das reações. Para manter esta temperatura, o nosso corpo trabalha o tempo todo para se ajustar às mudanças das temperaturas ambientais.[10]

Desta forma, conseguimos sobreviver às intensas mudanças climáticas, como as observadas nas estações do ano, influenciadas pelas diferentes posições da Terra em relação ao sol! Nosso organismo consegue manter não só a temperatura corporal, mas regular outras funções como a quantidade de nutrientes disponível para as diversas reações, através da homeostase, ou seja, a tendência que o nosso organismo tem de manter constantes as condições internas necessárias à manutenção da vida.[10-12]

Assim, quando a quantidade de nutrientes no nosso sangue está baixa demais para promover as reações necessárias à sobrevivência, temos fome e procuramos ingerir alimentos que reponham estes nutrientes. Da mesma forma, quando a quantidade de água está baixa, sentimos sede, ou quando precisamos eliminar o que o nosso organismo não está utilizando, vamos ao banheiro. Todos estes comportamentos são regulados por uma parte do nosso cérebro chamada de hipotálamo, que regula a homeostase.[13,14]

Esta tendência é importantíssima para nos proteger das mudanças bruscas do ambiente. Mesmo quando a temperatura ambiente está muito baixa ou muito alta, nosso organismo tende a manter a temperatura interna constante, produzindo ou dissipando calor.[13,14]

O sangue é fundamental para a manutenção de todos os processos de homeostase. Ele circula por todo nosso corpo, carregando nutrientes, transportando determinadas substâncias para agir em lugares adequados (hormônios), transportando o oxigênio que respiramos e retirando o gás carbônico que expelimos, assim como transportando as outras substâncias que não serão mais utilizadas pelo organismo e que, portanto serão eliminadas. O sangue é fundamental para a distribuição de água e calor, pois a partir da dilatação ou da constrição dos vasos sanguíneos, podemos diminuir ou aumentar a quantidade de calor do corpo, mantendo assim constante nossa temperatura corporal.[12]

A região do hipotálamo, do cérebro, por sua vez, coordena todas as funções de regulação do organismo, bem como os comportamentos adequados que a pessoa deve ter para manter a homeostase. Para regular a temperatura corporal, o hipotálamo possui neurônios sensíveis à variação de temperatura interna, ou seja, possui neurônios sensíveis ao calor e ao frio. Estes neurônios se conectam com neurônios também sensíveis à temperatura, presentes na medula espinhal, que detectam as variações de temperatura do sangue. Os neurônios da medula espinhal se conectam com os termoreceptores, que são terminações nervosas presentes na pele, que detectam as variações de temperatura do ambiente.[13,14]

A pele, junto com a camada de gordura que está abaixo dela, age como isolante de calor, não deixando que as variações de temperaturas externas alterem a temperatura interna. É por isto que não entramos em equilíbrio térmico com o ambiente, porque

possuímos um isolante e todo um sistema que mantém a temperatura corporal variando em torno de 36 a 37°C, para manter a homeostase.[10]

Conseqüentemente, os termoreceptores da pele são fundamentais para a vida! São eles os responsáveis para avisar aos neurônios do hipotálamo o que está acontecendo no ambiente! Nós possuímos termoreceptores na pele sensíveis ao frio e ao calor, sendo que os sensíveis ao frio detectam a temperatura externa quando esta varia entre a faixa de 10 a 35°C e os sensíveis ao calor atuam quando ela estiver variando entre 30 a 45°C. Portanto, quando a temperatura do ambiente está na faixa de 30 a 35°C tanto os termoreceptores sensíveis ao frio, quanto os termoreceptores sensíveis ao calor, podem estar atuando.[10-14]

Quando a temperatura está abaixo de 10°C o frio torna-se um anestésico e os termoreceptores sensíveis ao frio não detectam estas variações. Por outro lado, quando a temperatura do ambiente está acima de 45°C os termoreceptores sensíveis ao calor também não atuam mais, pois a pele começa a sofrer lesões e nesta temperatura os receptores sensíveis à dor (nociceptores) começam a ser acionados.[14]

No entanto, na faixa de temperatura de 10 a 45°C nossos termoreceptores detectam as variações do ambiente, enviam estas informações para os neurônios da medula espinhal sensíveis à temperatura, que estão conectados com o hipotálamo, que faz com que o organismo dissipe ou retenha calor. Quando a temperatura do ambiente está em torno de 20 a 35°C, nós nos sentimos confortáveis e não fazemos nada de especial para regular a temperatura corporal. Isto acontece porque nesta faixa de temperatura não há possibilidade de se ter uma mudança da temperatura do sangue e por isto, não sofreremos nenhuma alteração para regular a temperatura.[10,11,12]

Por exemplo, quando a temperatura está abaixo de 20°C, sentimos frio. Nestas condições os neurônios do hipotálamo tendem a mandar informações para o corpo armazenar calor, por isto ficamos brancos, ou seja, nossos vasos sanguíneos se contraem, deixando o sangue mais longe da pele. Também trememos, sentimos calafrios, nossos pêlos ficam eretos, ou nos movimentamos, que são formas que o organismo tem de produzir calor. Todos estes comportamentos são instintivos, ou seja, não os controlamos, e são essenciais para manter a temperatura corporal interna na faixa de 36 a 37°C, o que é fundamental para nossa sobrevivência.[10,11,14]

Por outro lado, quando a temperatura do ambiente varia entre 30 a 45°C, os nossos termoreceptores sensíveis ao calor são ativados. Quando isto acontece, além de sentirmos calor, suamos, ficamos vermelhos, pois nossos vasos sanguíneos se dilatam, como forma de dissipar o calor.[10]

Os termoreceptores, apesar de serem extremamente sensíveis, chegando a detectar mudanças de temperatura de até 0,01°C, respondem melhor às mudanças abruptas de temperatura. Isto ocorre porque eles conseguem se adaptar à temperatura ambiente, diminuindo a transmissão de informações para os neurônios da medula espinhal e, conseqüentemente, para os neurônios do cérebro, quando a temperatura permanece constante, mesmo que ela esteja baixa ou alta. Por isto, sentimos melhor a variação de temperatura quando mudamos bruscamente de um ambiente para outro![10,13,14]

Por exemplo, se num dia de calor estivermos ao ar livre e resolvermos entrar num lugar onde o ar-condicionado esteja ligado, imediatamente sentiremos a variação de temperatura! O mesmo ocorre quando saímos de um lugar frio e entramos num lugar quente, porque nossos termoreceptores agem melhor quando a temperatura do ambiente muda bruscamente, avisando ao hipotálamo as mudanças que estão ocorrendo.[10]

A manutenção da temperatura corporal é essencial para a sobrevivência! Por isto, quando a temperatura corporal está descontrolada, procuramos formas de controlá-la, buscando meios para dissipar ou reter calor. O estado de frio ou calor intenso gera um estresse no organismo, que procura voltar ao estado normal de regulação térmica. Para voltar a este estado normal, somos motivados a procurar calor quando sentimos frio, ou procurar nos refrescar quando estamos com calor. Isto porque os neurônios no nosso cérebro comandam estes estados de motivação para diminuir o estresse causado pelas sensações desagradáveis de frio e de calor.

Assim, numa tarde quente de verão, procuramos ingerir líquidos gelados, nadar, nos refrescar em piscinas, no mar ou em rios, e quando isto não é possível procuramos nos refrescar ligando aparelhos como ventiladores e ar-condicionado. Da mesma forma, quando o frio é muito intenso, procuramos nos agasalhar, nos proteger, ficar em lugares fechados, tomar líquidos quentes ou fazer movimentos que aumentam a produção de calor no organismo. Nesta parte do texto discutimos como a temperatura do planeta e do ambiente influenciam na regulação da temperatura corporal, causando as sensações de frio ou calor.

- **Química da atmosfera – protegendo e mantendo a vida!**

A superfície e a atmosfera da Terra são mantidas aquecidas, principalmente, pela energia proveniente do sol. Conseqüentemente, esta energia está intimamente relacionada com a vida e nos influencia tanto culturalmente, quanto nas reações que ocorrem no nosso corpo.

No entanto, não é toda radiação que é emitida pelo sol que chega até a superfície da Terra. Somente a radiação com comprimentos de onda que variam entre aproximadamente 320 a 2.500 nm e as ondas de rádio conseguem chegar até a superfície. O restante não consegue atravessar as moléculas de gases que compõem a atmosfera. Vários gases contribuem para absorver a radiação do ultravioleta, que destrói os tecidos vivos e impossibilitaria a existência dos tipos de vida que conhecemos na Terra.[5,6]

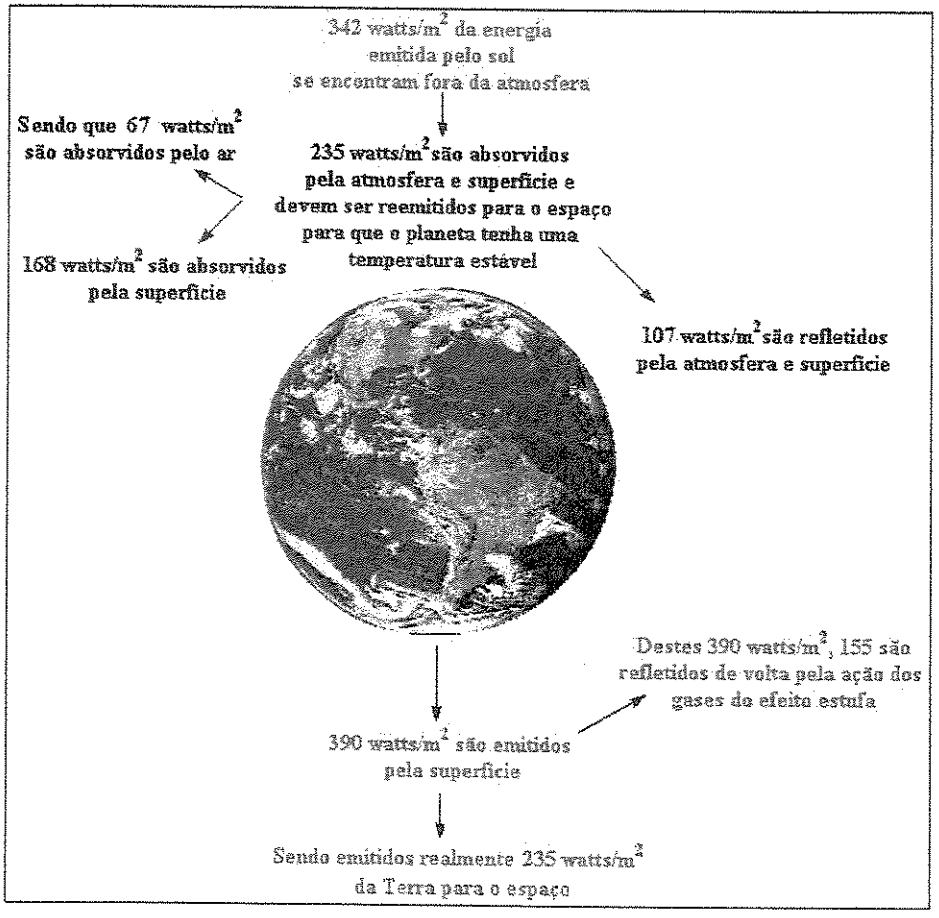
Como o sol consegue produzir tanta energia? Como a atmosfera consegue filtrar esta energia e, conseqüentemente, propiciar a existência de vida na Terra? O sol é uma estrela composta, principalmente, por hidrogênio (71%) e hélio (27%), que produzem energia devido às fusões constantes de seus núcleos. Como são elementos leves, estes processos liberam muita energia, produzindo assim radiação de quase todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético.[15]

Esta energia produzida continuamente pelo sol se propaga pelo espaço, atingindo todos os planetas que constituem o sistema solar, inclusive a Terra. Imagine se a Terra não tivesse atmosfera, ou seja, não tivesse moléculas que filtrassem esta energia! Seria realmente impossível existir vida aqui!

No entanto, não é toda a energia emitida pelo sol que chega na Terra! Podem ser feitas medidas do fluxo de entrada e saída de energia da Terra, em watts por metro quadrado de superfície. Estas medidas são feitas durante o dia e à noite, em todas as latitudes e longitudes e durante todas as estações do ano. Atualmente, estima-se que cerca de 342 watts/m^2 de energia da radiação do ultravioleta, visível e infravermelho encontram-se fora da atmosfera. Deste valor, 235 watts/m^2 são absorvidos pela atmosfera e pela superfície terrestre e devem ser reemitidos para o espaço para manter uma temperatura estável no planeta. Destes 235 watts/m^2, 107 watts/m^2 são refletidos pela atmosfera e superfície saindo da atmosfera; 67 watts/m^2 são absorvidos pelo ar, restando 168 watts/m^2

que são absorvidos pela superfície da Terra. Para completar o balanço de energia, 390 watts/m^2 são emitidos pela superfície, dos quais 155 watts/m^2 são refletidos de volta pela ação dos gases indutores do efeito estufa e não conseguem escapar. O balanço de energia da Terra está ilustrado na figura 1.[5]

Figura 1 – Representação do balanço de energia da terra.



Podemos verificar que está saindo mais energia da Terra do que entrando. Como isto é possível? A Terra teria então capacidade de produzir energia? De onde ela viria? O próprio centro da Terra estaria produzindo energia, exemplos disso são os vulcões em erupção. Neste caso, há um aumento de temperatura na região da superfície da Terra em que o vulcão está ativo e que não tem nenhuma relação com a energia vinda do sol.

No entanto, acredita-se que o que mantém a temperatura na superfície da Terra seja o efeito estufa, ou melhor, a atividade dos diversos gases que compõem a atmosfera. Por

isto, não entraremos em detalhes a respeito da energia gerada pelo centro da Terra, mas explicaremos o que estes gases fazem.

O oxigênio, por exemplo, é uma molécula diatômica que contribui para filtrar esta energia do sol. Esta molécula não absorve luz visível, mas absorve radiação do ultravioleta com comprimento de onda que variam entre *70* e *250 nm*. Por isto, o O_2 situado acima da estratosfera (região da atmosfera que abrange aproximadamente dos 15 até os 50 km de altura) filtra a maior parte da radiação ultravioleta que é emitida pelo sol. Além disso, a radiação ultravioleta com comprimentos de onda mais curtos que *120 nm* também é filtrada na estratosfera e acima dela pelo N_2. Desta forma, a radiação com comprimentos de onda mais curtos que *220 nm* não atinge a superfície da Terra.[3,5,7,16]

No entanto, o O_2 é incapaz de filtrar toda a radiação do ultravioleta que é prejudicial aos organismos vivos. Por isto, a radiação emitida pelo sol com comprimentos de onda que variam de *220* a *320 nm* também deve ser filtrada, o que é feito, principalmente, pelas moléculas de O_3, que estão espalhadas pela estratosfera. O ozônio está presente em pequenas concentrações em toda a atmosfera, sendo que a quantidade normal de ozônio estratosférico, em latitudes onde predominam climas temperados, é de cerca de 350 UD*.[5]

Mas, como as moléculas de ozônio são formadas? Quais são os processos que estão envolvidos para que se forme uma camada de ozônio na atmosfera? Onde esta camada está localizada na atmosfera?

Para formar o ozônio, o oxigênio presente na atmosfera se dissocia absorvendo fótons da região do ultravioleta. Quando as moléculas de O_2 são dissociadas são formados átomos de oxigênio que, por sua vez, podem reagir com as moléculas de O_2 formando o O_3. Desta forma, o ozônio se organiza numa camada que também absorve a radiação do ultravioleta.[5,7]

As energias dos fótons da radiação da região do ultravioleta são da mesma ordem de grandeza que as mudanças de entalpia (ΔH^0) das reações de dissociação do oxigênio molecular. Neste caso, se requer uma variação de entalpia de 495 $kJ.mol^{-1}$.[3,5]

$$O_2 \rightarrow 2\,O \quad \Delta H^0 = 495\ kJ.mol^{-1}$$

* Unidades Dobson, esta unidade é equivalente à espessura de 0,1 mm de ozônio puro, com a densidade que ele possuiria se estivesse submetido à pressão de 1 atm e a 0°C de temperatura

A variação de entalpia é igual à energia requerida para efetuar esta reação sob condições de pressão e temperatura da estratosfera. Como a energia (em Joules) é igual a constante de Planck vezes a freqüência da onda ($E = h\nu$) e a freqüência, por sua vez, é igual à velocidade da radiação dividida pelo comprimento de onda ($\nu = c/\lambda$)*, o comprimento de onda desta radiação que dissocia o oxigênio é de:[5]

$$\lambda = hc/E$$

Sendo que: $E = 495$ kJ.mol^{-1}; $h = 6{,}62.10^{-34}$ J.s e $c = 3.10^{8}$ m.s^{-1}. Como o valor de variação de entalpia está expresso em kJ.mol^{-1}, torna-se necessário multiplicar hc pelo número de Avogrado ($N_a = 6{,}02.10^{23}$) para obter a energia em base molar. Então:

$$\lambda = 6{,}62.10^{-34}\,(\text{J.s}) \,.\, 3.10^{8}\,(\text{m.s}^{-1}) \,.\, 6{,}02.10^{23}\,(\text{mol}^{-1}) \,/\, 495.000\,(\text{J.mol}^{-1}) = 241 \text{ nm}$$

Desta forma, se uma molécula de O_2 absorver um fóton com comprimento de onda *241 nm* ou menor, a energia absorvida será utilizada para que elétrons do estado fundamental sejam deslocados até o estado excitado. Como o estado excitado é instável, este elétron tende a voltar, convertendo o excesso de energia que foi absorvida na forma de calor. Este, por sua vez, é então distribuído entre as moléculas vizinhas aumentando-se assim as colisões entre elas. Tudo isto leva as moléculas de O_2 a se dissociarem.[5,16]

Além disso, a colisão de um átomo de oxigênio (O) com uma molécula de oxigênio (O_2) pode levar à formação de O_3:

$$O + O_2 \rightarrow O_3 + \text{calor}$$

Todas as moléculas de ozônio da atmosfera são sintetizadas desta forma! Então, enquanto a radiação do sol está incidindo sobre a atmosfera o ozônio está sendo formado. Por outro lado, o nitrogênio, por exemplo, é capaz de absorver o excesso de calor que é gerado na colisão entre o oxigênio atômico e molecular para produzir ozônio:[3,5]

---

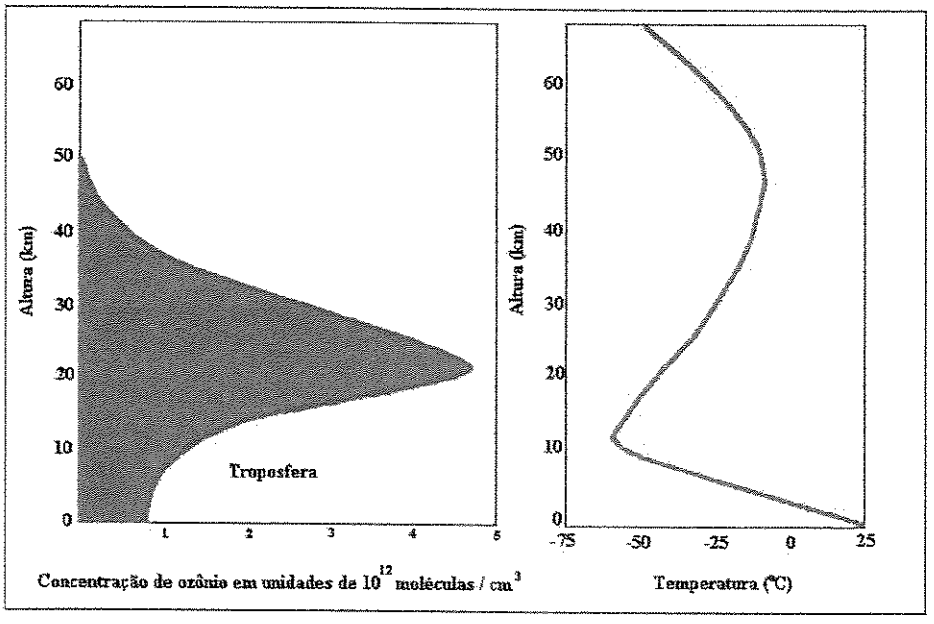
* Ver *"Visão, Luz e Cores"*, páginas 39 e 40.

$$O + O_2 + N_2 \rightarrow O_3 + N_2 + \text{calor}$$

A liberação de calor através dessa reação faz com que a temperatura se eleve na região da atmosfera onde são formadas as moléculas de ozônio, em relação às regiões acima e abaixo dela. A este fenômeno dá-se o nome de inversão térmica.[3,5,16] Por que isto acontece? Por que não há transferência de calor de uma região da atmosfera para outra até se igualar à temperatura?

Como um gás frio é mais denso que um quente, ele não se eleva espontaneamente devido à força de gravidade; como resultado, não há condução de calor. Isto pode ser verificado na figura 2, onde estão ilustrados dois gráficos de variação de concentração do ozônio com a altura e com a temperatura na atmosfera.[3,5,16]

Figura 2 – Variação da concentração do ozônio com a altura (em regiões de latitude intermediária) e com a temperatura para diferentes regiões da atmosfera.



Por outro lado, o ozônio absorve a radiação com comprimentos de onda menores de 320 nm para que seus elétrons sejam deslocados para o estado excitado, o que pode levar a uma dissociação, formando novamente a molécula e o átomo de oxigênio:[3,5]

$$O_3 + \text{fóton UV } (\lambda<320 \text{ nm}) \rightarrow O_2 + O$$

Os átomos de oxigênio produzidos na reação do ozônio com a radiação da região do ultravioleta reagem subseqüentemente com moléculas de oxigênio para formar novamente o ozônio, alguns reagem com o ozônio, formando duas moléculas de oxigênio:[3,5]

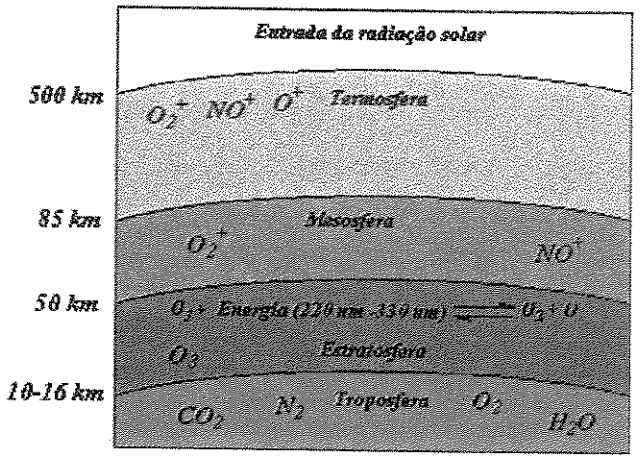
$$O_3 + O \rightarrow 2\ O_2$$

No entanto, essa reação é muito lenta e geralmente não ocorre. Por isto, podemos observar que o ozônio da atmosfera está constantemente sendo formando e destruído através de uma série de reações que acontecem simultaneamente.[3,5]

Então, como há uma grande quantidade de oxigênio na atmosfera, e ela está constantemente recebendo a radiação energética do sol, de que maneira a camada de ozônio esta diminuindo? Por que não se forma mais ozônio na atmosfera? Por que todas as moléculas de oxigênio não estão dissociadas? Como se organizam estes gases na atmosfera?

A atmosfera tem cerca de 1.000 km de extensão a partir da superfície terrestre, sendo que até cerca de 110 km a atmosfera é dividida em quatro regiões que possuem diferentes características, conforme ilustrado na figura **3**. Até aproximadamente 19 km de altitude há a troposfera, que possui aproximadamente 75% da massa total da atmosfera, formada por gases como N_2, O_2, CO_2 e H_2O. De aproximadamente 19 a 55 km de altitude há a chamada estratosfera onde está presente o ozônio, e há a absorção de mais de 90% da radiação da região do ultravioleta emitida pelo sol. Desta forma, esta radiação não chega até a troposfera e não consegue dissociar as moléculas de O_2 e N_2, que permanecem na forma molecular. Nas camadas mais altas como na mesosfera e na termosfera, a concentração de gases é bem menor, portanto, estas camadas são rarefeitas, onde se predominam as espécies iônicas, como NO^+, O_2^+ e O^+.[17]

Figura 3 – Ilustração das camadas da atmosfera.



Por que não se forma ozônio na troposfera? Como existe uma região na atmosfera onde predominam as moléculas de ozônio? Por que esta camada não fica mais acima da estratosfera?

Na estratosfera a intensidade da radiação ultravioleta é muito menor, pois uma grande parte dela é filtrada pelo oxigênio da parte superior. Contudo, na sua parte inferior, a concentração de O_2 é muito maior que na superior, pois a densidade do ar aumenta progressivamente à medida que nos aproximamos da superfície. Mas, nesse nível, uma quantidade relativamente pequena de oxigênio está dissociada, sendo formada dessa maneira pequena quantidade de ozônio, já que quase toda a radiação ultravioleta foi absorvida antes de atingir esta altitude. Por esta razão, a camada de ozônio não se estende muito abaixo da estratosfera, e mesmo o ozônio presente na estratosfera mais baixa é formado principalmente em alturas superiores e transportado até lá.[5]

Por outro lado, na parte superior da estratosfera, a intensidade da radiação ultravioleta é maior, mas o ar é menos denso, sendo, portanto, produzido pouco ozônio, já que os átomos de oxigênio colidem e reagem uns com os outros ao invés de reagirem com o pequeno número de moléculas de oxigênio. Conseqüentemente, a densidade máxima do ozônio ocorre cerca de 25 km de altitude sobre áreas tropicais, de 21 km sobre latitudes intermediárias e de 18 km sobre regiões árticas. Então, a maioria do ozônio está localizada

na região compreendida entre 15 e 35 km, nas camadas inferior e média da estratosfera, conhecida como camada de ozônio.[5]

Com o aumento da poluição, depois da industrialização, o homem está emitindo outros gases para a atmosfera que podem decompor o ozônio numa velocidade maior do que a de sua formação; como conseqüência há a destruição de parte das moléculas de ozônio que formam esta camada. As espécies moleculares que conseguem dissociar o ozônio são muito reativas, tais como os radicais livres, que são átomos ou moléculas que contém pelo menos um elétron desemparelhado, tais como: $OH^{\bullet}$, $CH_3^{\bullet}$, $CF_2Cl^{\bullet}$, $H_3COO^{\bullet}$, $H_3CO^{\bullet}$, $ClOO^{\bullet}$, $ClO^{\bullet}$, $HCO^{\bullet}$ e $NO^{\bullet}$.[3,5,7,16,17]

A destruição do ozônio ocorre mesmo sem poluentes, já que sempre estão presentes na estratosfera pequenas quantidades de moléculas capazes de decompô-lo, como por exemplo, $NO^{\bullet}$. Esta espécie é produzida quando o óxido nitroso (N_2O) migra da troposfera para a estratosfera, onde pode colidir com um átomo de oxigênio excitado produzido pela decomposição fotoquímica do ozônio, mas a maior parte destas colisões produz N_2 e O_2, no entanto, algumas resultam em:[3,5]

$$N_2O + O \rightarrow 2\ NO^{\bullet}$$

Esta espécie decompõe o ozônio, pois extrai um átomo de oxigênio, formando o radical do dióxido de nitrogênio ($NO_2^{\bullet}$) que por sua vez reagem com o oxigênio atômico, formando o molecular, através do seguinte mecanismo:[3]

$$NO^{\bullet} + O_3 \rightarrow NO_2^{\bullet} + O_2$$

$$\underline{NO_2^{\bullet} + O \rightarrow NO^{\bullet} + O_2}$$

$$O_3 + O \rightarrow 2\ O_2$$

Por outro lado, os átomos de oxigênio com elétrons no estado excitado podem reagir com moléculas de água ou de metano formando o radical hidroxila ($OH^{\bullet}$):[3,5]

$$O + CH_4 \rightarrow OH^{\bullet} + CH_3^{\bullet}$$

Este radical também pode destruir o ozônio a partir das seguintes reações:[3,5]

$$OH^{\bullet} + O_3 \rightarrow HOO^{\bullet} + O_2$$

$$\underline{HOO^{\bullet} + O \rightarrow HO^{\bullet} + O_2}$$

$$O_3 + O \rightarrow 2\,O_2$$

As outras espécies radicalares também conseguem decompor o ozônio da mesma forma que o radical hidroxila. Muitas destas espécies são originadas de poluentes como os CFC's. Com a destruição do ozônio as radiações com comprimentos de onda da região do ultravioleta podem chegar mais facilmente até a superfície da Terra, já que não são mais absorvidas. Como a radiação do ultravioleta possui muita energia, se a concentração de ozônio diminuir ainda mais, a conseqüência pode ser catastrófica, porque várias formas de vida podem ser destruídas, já que esta radiação tem energia suficiente para dissociar muitas moléculas que formam as células. Felizmente, existe a camada de ozônio na atmosfera e o mundo deve tomar providências para que ela não seja destruída, para que os constituintes celulares não sejam dissociados![3,5,6,7]

No entanto, o ozônio não absorve somente a radiação do ultravioleta, utilizada para que seus elétrons sofram transições eletrônicas, mas também é capaz de absorver a radiação da região do infravermelho. Quais são as conseqüências disto? O que isto modifica na atmosfera? Que efeitos originam? Estas e outras questões serão discutidas a seguir.

- **Efeito Estufa – Natural e Benéfico!**

De toda a radiação incidente na Terra, cerca de 50% alcança a superfície, onde é absorvida. Outros 20% da radiação ultravioleta incidente são absorvidos por gases como o ozônio e oxigênio diatômico. A radiação infravermelha é absorvida por gases como o CO_2 e a H_2O, os 30% restantes são refletidos de volta ao espaço pelas nuvens, pelo gelo, pela neve, pela areia e por outros corpos refletores, sem que ocorra qualquer absorção.[5]

No entanto, o ozônio também consegue absorver radiação da região do infravermelho. Isto é possível, por que ele possui uma geometria angular, o que faz com que a densidade eletrônica do átomo de oxigênio central seja diferente da densidade

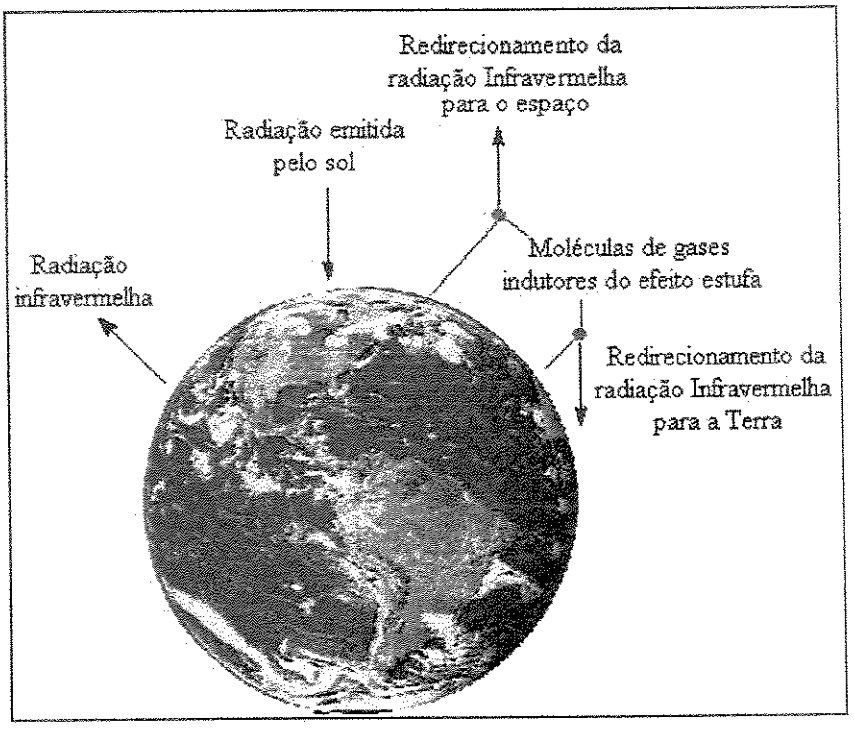
eletrônica dos átomos de oxigênio terminais, causando um momento de dipolo permanente. Por isto, esta molécula pode absorver radiação com comprimentos de onda da radiação do infravermelho para aumentar a amplitude dos movimentos de vibração e de rotação. Neste caso, para aumentar a amplitude do estiramento assimétrico das moléculas de ozônio há a absorção de radiação com comprimentos de onda entre 9.000 e 10.000 nm, que está na região do infravermelho. Esta propriedade torna o ozônio um dos gases que causam o efeito estufa![5,18-22]

Como podemos observar na figura 1, onde ilustramos o balanço de energia, a Terra emite energia, mas, as quantidades de energia que o planeta absorve e liberada devem ser proporcionais para que a temperatura se mantenha constante. Esta energia emitida não se situa na região do visível, ou do ultravioleta, mas na região do infravermelho, apresentando comprimentos de onda que variam de 4.000 a 50.000 nm e para esta região dá-se o nome de infravermelho térmico.[5]

Alguns gases presentes na atmosfera podem absorver a radiação do infravermelho térmico, por isto, nem todo infravermelho que é emitido pela superfície da terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Logo após sua absorção por moléculas como os gases que induzem o efeito estufa, ela é reemitida em todas as direções, de modo completamente aleatório. Deste modo, uma parte da radiação da região do infravermelho térmico é direcionada de volta à superfície, sendo reabsorvida, e, conseqüentemente, provocando um aquecimento adicional tanto da superfície como do ar. Como já mencionamos, a esse fenômeno de redirecionamento ou desvio da radiação do infravermelho térmico em direção a terra dá-se o nome de efeito estufa. Ele é responsável pelo fato da temperatura média da superfície da terra ser adequada para a existência de vida, pois se eles não estivessem presentes, a água da superfície da Terra estaria congelada. Na figura 4, encontramos uma representação do efeito estufa.[3,5,7]

O que preocupa os cientistas ambientais não é efeito estufa em si, mas sim um aumento da concentração de gases que absorvem radiação do infravermelho térmico, o que resulta no redirecionamento de uma maior quantidade de energia do infravermelho refletida para a Terra, o que poderá aumentar a temperatura média da superfície.[7]

Figura 4 – Representação do efeito estufa.



Por outro lado, é interessante observar que os principais constituintes da atmosfera, os gases N_2, O_2 e Argônio, não são capazes de absorver radiação da região do infravermelho. Isto porque quando as moléculas de N_2 e O_2 vibram por estiramento, não há nenhuma variação efetiva no seu momento de dipolo, e por isto, estas moléculas não podem absorver a radiação da região do infravermelho*. Para aumentar a amplitude do movimento de vibração destas moléculas é preciso fornecer energia com comprimentos de onda maiores que as da região do infravermelho.[18-22]

Isto não quer dizer que estas moléculas não estejam vibrando; pelo contrário, todas as moléculas estão em constante movimento de vibração e rotação. Existem alguns modos de vibração possíveis, sendo que o movimento de vibração mais simples que pode ocorrer em uma molécula é o movimento oscilatório relativo de dois átomos diferentes ligados entre si, chamado de estiramento da ligação.[18-22]

---

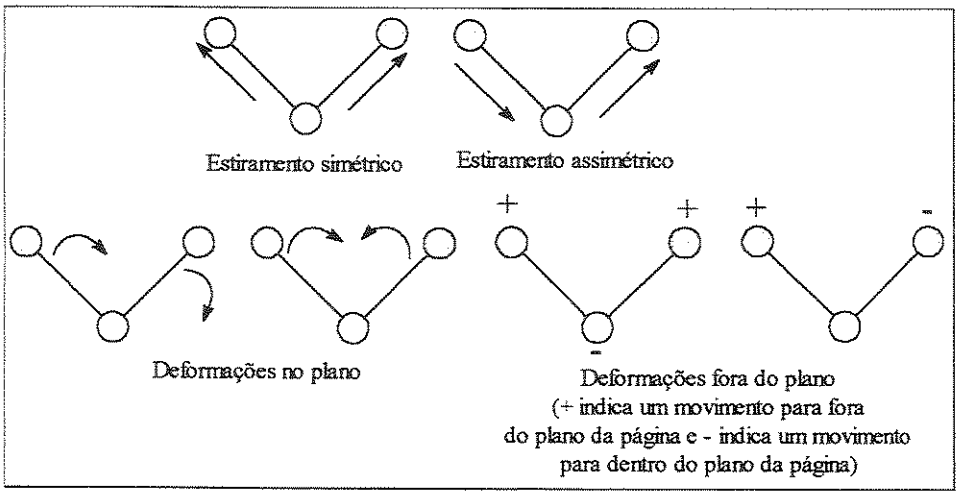
* Regra de Seleção: o nitrogênio e o oxigênio não absorvem no Infravermelho, pois não possuem alteração no momento dipolar devida a interação com esta radiação. No entanto, estas moléculas absorvem energia quantizada para aumentar a amplitude dos movimentos de rotação e vibração. Esta absorção dá origem a espectroscopia no Raman.

Neste movimento, à distância entre os dois átomos aumenta para assumir um valor superior ao valor médio, retornando em seguida a este valor. Este movimento oscilatório ocorre em todas as ligações e em todas as moléculas sob todas as condições de temperatura, sendo que um número enorme (cerca de 10^{13}) de movimentos vibracionais ocorre a cada segundo. No entanto, a freqüência exata com que ocorre este movimento depende, principalmente, do tipo de ligação (simples, dupla, ou tripla) e da identidade dos átomos envolvidos.[18-22]

Contudo, não existe somente o movimento de vibração por estiramento, existem outros movimentos vibracionais como uma oscilação na distância entre dois átomos diferentes ligados a um outro átomo, mas não ligado um ao outro. Esse movimento altera o ângulo da ligação do seu valor médio, e é chamado de vibração de deformação. Ele ocorre em todas as moléculas que contêm três átomos ou mais, sendo que muitas de suas freqüências encontram-se na região do infravermelho térmico.[5,17-21]

Podem existir dois tipos de estiramento, o simétrico e o assimétrico. Por outro lado, podem existir quatro tipos de deformação, podendo ocorrer fora do plano ou no plano da ligação, conforme ilustrado na figura 5.[21]

Figura 5 – Tipos de vibrações moleculares.



Como as moléculas diatômicas homonucleares como O_2 e N_2 têm momentos dipolares iguais a zero, durante todo o tempo em sua vibração de estiramento, elas não

absorvem radiação da região do infravermelho. Então, quais serão as moléculas responsáveis por manter o balanço de calor da Terra? Ou, quais são as moléculas que absorvem no infravermelho térmico?

Para absorver radiação do infravermelho, deve haver na molécula uma variação de momento de dipolo como conseqüência do movimento. Isto não quer dizer que a molécula tem que ter um momento de dipolo permanente, mas deve existir um momento de dipolo que pode ser alterado por esses movimentos. Isto quer dizer que para a radiação do infravermelho ser absorvida por uma molécula durante uma vibração, deve existir uma diferença na posição na molécula entre seu centro de carga positiva e o centro de carga negativa, ou sua nuvem eletrônica, em algum ponto durante o movimento. Ou seja, para absorver radiação do infravermelho, a molécula deve apresentar um momento dipolar durante algum estágio da vibração. Quando a molécula absorve radiação do infravermelho, esta radiação pode ser absorvida quando sua freqüência se iguala à freqüência do movimento interno que a molécula venha a ter, como sua vibração.[18-22]

A absorção da radiação por uma molécula ocorre de maneira mais efetiva quando as freqüências da radiação e de uma das suas vibrações igualam-se exatamente. Contudo, a radiação com freqüência um pouco menor ou um pouco maior que a da vibração também pode ser absorvida parcialmente por um conjunto de moléculas. Isto ocorre porque há uma variação na energia rotacional da molécula em torno do seu próprio eixo. Essa energia pode ser tanto ligeiramente maior, como ligeiramente menor quando a radiação do infravermelho é absorvida para a aumentar sua energia vibracional.[18-22]

Quando uma molécula absorve radiação da região do infravermelho a amplitude com que estes movimentos ocorrem podem ser aumentadas. A região do infravermelho engloba as ondas com comprimentos que variam entre *700* até *50.000 nm*, que possuem energia menor que a da região do visível e do ultravioleta. No entanto, somente as ondas que possuem comprimentos que variam entre *4.000* e *50.000 nm*, que pertencem a uma região chamada de infravermelho térmico, são absorvidas pelas moléculas que exercem o efeito estufa.[5]

Para cada faixa de comprimentos de onda da região do infravermelho está associado um modo vibracional, tal como pode ser observado nos dados da tabela **1**.

Tabela 1 – Dados sobre o comprimento de onda, em nanômetros, que é absorvido para intensificar o estiramento simétrico, assimétrico e a deformação em diversas ligações, de algumas moléculas que induzem e/ou intensificam o efeito estufa.[5,18-22]

Molécula/ligação	$\lambda_{absorção}$ ***(nm)*** ***Estiramento simétrico***	$\lambda_{absorção}$ ***(nm)*** ***Estiramento assimétrico***	$\lambda_{absorção}$ ***(nm)*** ***Deformação***
H_2O	2.700 (não está na região do IV térmico)	2.700 (não está na região do IV térmico)	6.300
CO_2	Não causa variação de dipolo – inativa no IV	4.300	15.000
CH_4			7.700
O_3		9.000 – 10.000	
N_2O	7.800		8.600
NO_2	2.740 (não está na região do IV térmico)	2.660 (não está na região do IV térmico)	6.270

Para muitos tipos de ligação, por exemplo, na *–C—H* no metano ou na *–O—H* da água, a freqüência com que ocorre o movimento de estiramento simétrico não se encontra na região do infravermelho térmico. No entanto, a freqüência de estiramento das ligações *–C—F* corresponde a um comprimento de onda que se situa na faixa do infravermelho térmico, assim, quaisquer moléculas na atmosfera que possuam ligações *–C—F* absorverão radiação do infravermelho térmico que é refletida para a Terra e intensificarão o efeito estufa. Então, para saber quais são as moléculas que agem como indutoras do efeito estufa, é necessário avaliar quais são os modos de vibração existentes na molécula e quais deles absorvem radiação da região do infravermelho térmico.[5]

A água, por exemplo, é uma molécula que consegue absorver a radiação da região do infravermelho térmico, para aumentar a amplitude de seus movimentos de vibração de deformação. No estado gasoso, a água absorve radiação do infravermelho emitida pelo sol e reemitida da Terra, refletindo o que não foi absorvido de volta para Terra, por isto é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Ela possui dipolos elétricos permanentes, portanto é uma molécula polar. Como o oxigênio é mais eletronegativo que o hidrogênio, a distribuição de carga ao longo dos eixos das ligações não é simétrica, pois o oxigênio possui uma densidade eletrônica maior do que o hidrogênio, o que resulta num momento de dipolo permanente sendo, portanto, capaz de absorver radiação do infravermelho.[5,18,21]

Quando o campo elétrico da onda eletromagnética da radiação do infravermelho, com um determinado comprimento de onda, incide sobre a molécula de água, há uma variação no momento de dipolo permanente da água. Por isto, as moléculas de vapor de água absorvem radiação do infravermelho térmico devido à vibração de deformação angular das ligações *H—O—H*, sendo que para essa absorção é necessário fornecer energia de aproximadamente *6.300 nm*. Por outro lado, a vibração de estiramento assimétrico para a água absorve radiação de aproximadamente *2.700 nm*, que está fora da região do infravermelho térmico e que, portanto, não é responsável pelo efeito estufa. O aumento na energia rotacional para as moléculas de água absorve a radiação do infravermelho térmico com comprimento de onda maior e igual a *18.000 nm*.[5]

É por isto que em regiões secas, como as dos desertos, a temperatura varia consideravelmente com o movimento de rotação da Terra. Como a concentração de moléculas de água no deserto é menor, a temperatura durante a noite é muito baixa, pois não há o principal gás indutor do efeito estufa, para manter a temperatura. Mas, durante o dia, a temperatura é muito elevada, devida a absorção direta de energia solar.[5]

Assim, a quantidade de vapor de água presente no ar, é importante para manter a temperatura. Mas, a água não é a única molécula responsável por manter o efeito estufa. Outras moléculas como o CO_2 também conseguem absorver radiação da região do infravermelho térmico e, conseqüentemente, contribuem para o aquecimento da Terra.[3,5,7]

O CO_2 é uma molécula apolar. Embora o oxigênio seja mais eletronegativo que o carbono, a densidade eletrônica está em torno dos átomos de oxigênio, mas como há um átomo de oxigênio em cada extremidade da molécula, os momentos de dipolo têm sentidos opostos e se cancelam mutuamente, conferindo uma apolaridade à molécula.[5,21]

No entanto, a molécula de CO_2 adquire um momento de dipolo durante o movimento de vibração de deformação. Esta variação no seu momento de dipolo é intensificada pela absorção de determinados comprimentos de onda da região do infravermelho térmico, pois quando o campo elétrico da onda eletromagnética da radiação desta região interage com esta molécula, provoca uma deformação na distribuição dos elétrons e nas posições dos núcleos.[18-21]

Para o CO_2, durante o movimento vibratório no qual as distâncias entre *–C—O* estendem-se e encurtam-se de maneira sincronizada (simultaneamente), não ocorre em

momento algum qualquer diferença na posição entre os centros de cargas positivas e negativas, dado que ambas situam-se precisamente no núcleo central. Como conseqüência, durante a vibração de estiramento simétrico, a molécula não absorve radiação do infravermelho. Contudo, durante a vibração de estiramento assimétrico, que ocorre quando a contração de uma das ligações *–C—O* ocorre enquanto a outra está se expandindo, ou vice-versa, de modo que durante este movimento os centros de carga não coincidem necessariamente, pode ser absorvida radiação do infravermelho para aumentar a amplitude deste movimento.[18-21]

Portanto, a radiação do infravermelho pode ser absorvida, nesta freqüência dado que, em alguns pontos durante a vibração, a molécula possui um momento dipolar. Para o CO_2 a absorção máxima de radiação da região do infravermelho térmico ocorre no comprimento de onda de *15.000 nm*, que corresponde a uma freqüência de vibração de 2.10^3 *Hz*. A absorção ocorre nesta freqüência particular pelo fato de igualar-se àquela das vibrações das moléculas de CO_2, isto é, a vibração de deformação da ligação *O=C=O*. O CO_2 também absorve fortemente a radiação do infravermelho com comprimento de onda de *4.260 nm*, que corresponde a uma freqüência de 7.10^3 *Hz* da vibração de estiramento assimétrico do O=C=O.[5]

As moléculas de CO_2 absorvem metade da radiação do infravermelho térmico refletida de comprimentos de onda da região de *14.000-16.000 nm*, mas também absorvem uma porção relativamente considerável das regiões compreendidas entre *12.000-14.000* e *16.000-18.000 nm*, que são originadas das variações de energia pelos movimentos rotacionais quando a energia vibracional é alterada. Embora o CO_2 também absorva radiação em *4.300 nm* devido à vibração de estiramento assimétrico, pouca energia é refletida da terra neste comprimento de onda, por isto sua absorção não é muito importante.[5]

O aumento na concentração de CO_2 na atmosfera, devido à poluição, impede que mais radiação do infravermelho refletida pela superfície da Terra escape, o que produz um maior aquecimento. A emissão do CO_2 tem aumentado a uma taxa anual de 0,4%, quase o dobro que na década de 1960. Quando se aumenta a concentração na atmosfera de gases que podem absorver radiação da região do infravermelho térmico, mesmo que em

quantidades muito pequenas, há um maior aquecimento do planeta, ou seja, intensifica-se o efeito estufa.[3,5,7] Mas quais seriam estes gases?

As moléculas diatômicas como CO e NO não são de muito interesse, já que sua vibração de estiramento de ligação, apresenta uma freqüência situada fora da região do infravermelho térmico. Portanto, depois do CO_2 e da água, o metano, é o gás indutor do efeito estufa de maior importância.[5]

O aumento do nível de metano atmosférico é também uma conseqüência de atividades humanas, como o aumento da produção de alimentos, o uso de combustíveis fósseis e o desflorestamento. No entanto, ele também é produzido por via biológica pela decomposição anaeróbica de matéria de origem vegetal, o que ocorre em grande escala onde há decomposição de plantas submersas em água, como por exemplo, em pântanos, brejos e terrenos úmidos de cultivo de arroz. Portanto, as terras alagadas são a maior fonte natural de metano, mas animais ruminantes, como gado bovino, ovelhas e certos animais selvagens também produzem grandes quantidades de metano como subproduto em seus estômagos quando digerem a celulose da qual se alimentam. A decomposição anaeróbica que ocorre sob condições marcadas pela ausência de oxigênio, de matéria orgânica em lixo depositado nos aterros sanitários é outra importante fonte de metano para o ar.[3,5,7]

Embora as vibrações de estiramento da ligação *–C—H* ocorram fora da região do infravermelho térmico, a deformação angular da ligação *H—C—H* na molécula de metano, absorvem radiação com comprimento de onda de *7.700 nm*.[5]

Outros gases presentes em menores quantidades na atmosfera, também contribuem para o efeito estufa, como por exemplo, o óxido nitroso N_2O. Sua vibração de deformação angular absorve radiação da região do infravermelho térmico em *8.600 nm*. Além disso, uma de suas vibrações de estiramento de ligação absorve em *7.800 nm*, no mesmo comprimento de onda de uma da absorção devida a deformação angular do metano.[5]

Outros compostos como os clorofluorcarbonetos $CFCl_3$ e CF_2Cl_2, que já foram liberados na atmosfera em grandes quantidades e que apresentam longos tempos de residência e absorvem a radiação da região do infravermelho térmico, têm o potencial de causar a mesma quantidade de aquecimento global de 10.000 moléculas de CO_2. Entretanto, o efeito final dos CFC's na temperatura global é pequeno, pois o aquecimento que eles produzem pelo redirecionamento do infravermelho térmico é parcialmente

cancelado por um efeito independente, o resfriamento que eles induzem na estratosfera em virtude da destruição que provocam na camada de ozônio. A diminuição na quantidade de ozônio estratosférico permite que mais radiação ultravioleta alcance as camadas mais baixas da atmosfera e a superfície, onde é absorvido. Deve-se perceber que os efeitos de resfriamento e de aquecimento, produzidos pelos CFC's ocorrem em altitudes muito diferentes, de modo que seu efeito líquido sobre a terra pode ser substancial.[3,5,7]

Isto ocorre porque compostos gasosos que possuem moléculas com átomos de carbono ligados exclusivamente a átomos de flúor e/ou átomos de cloro apresentam talvez o maior potencial para induzir ao aquecimento global, uma vez que ficam muito tempo na atmosfera e absorvem fortemente na região entre *8.000* e *13.000 nm*. A absorção devido ao estiramento na ligação *–C—F* está centrada em *9.000 nm*, e o estiramento do *–C—Cl* e as várias vibrações também ocorrem em freqüências que se situam dentro desta região.[5]

Muitos cientistas acreditam que o aquecimento global seja considerado um dos nossos maiores problemas ambientais em nível mundial. E se os modelos atuais de atmosfera estiverem corretos, a temperatura da Terra aumentará significativamente nas próximas décadas.[3,5,7]

Portanto, os gases presentes na atmosfera são os principais responsáveis por filtrar a radiação do sol, deixando chegar até a superfície da Terra, somente aquela útil para as formas de vida que aqui existem. Este balanço de energia contribui para que o planeta tenha uma temperatura ideal, mas são os outros fatores que influenciam no clima das diversas regiões da Terra.

Conforme mencionamos, cada região da Terra tem um clima característico, que é influenciado por vários fatores, tais como: movimentos de translação da Terra, altitude e latitude do local, proximidade do mar, massas de ar, pressão atmosférica, dentre outros. Todos eles contribuem para que em cada região viva uma determinada população, que possui uma cultura específica e, conseqüentemente, hábitos característicos.

Então, é a temperatura do ambiente que define o clima da região. E esta temperatura é captada pelos nossos termoreceptores que enviam mensagens ao cérebro, causando as sensações de frio ou calor e, ao mesmo tempo, comandando reações para manter a temperatura corporal constante.

Como ocorrem estas reações? Como os termoreceptores captam as variações de temperatura do ambiente? Por que sentimos frio ou calor? O que isto nos influencia? Estas e outras questões serão discutidas na próxima parte do texto.

- **Como a temperatura do ambiente influencia na temperatura corporal?**

Já discutimos que muitas moléculas podem interagir com a radiação eletromagnética. Quando uma molécula absorve radiação para ir para os estados excitados de rotação, vibração ou para realizar transições eletrônicas, há o fornecimento de energia e o sistema é capaz de efetuar um trabalho. No entanto, a energia de um sistema pode ser modificada por maneiras que não envolvem o trabalho, mas sim a transferência de calor, como quando a energia de um sistema se altera como resultado da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças. Assim, quando os gases responsáveis pelo efeito estufa refletem a energia do infravermelho que não foi absorvida, na verdade estão transferindo esta energia na forma de calor para o ambiente, o que causa um aumento da temperatura do ambiente.[21]

Quando as moléculas do ambiente utilizam esta energia na forma de calor para se movimentar ou para efetuar trabalho, estão realizando um processo endotérmico. Nosso organismo para manter a temperatura corporal interna constante também realiza uma série de processos exotérmicos e endotérmicos, quando nossos termoreceptores detectam mudanças bruscas de temperatura do ambiente.[10,21,23]

Por exemplo, quando a temperatura do ambiente é menor que 20°C e os termoreceptores sensíveis ao frio detectam uma queda na temperatura que pode alterar a temperatura interna do corpo, os neurônios do hipotálamo ativam processos endotérmicos para reter calor do corpo. Da mesma forma, quando a temperatura do ambiente está muito quente, nosso corpo tende a dissipar calor, através de processos exotérmicos, cedendo calor para o ambiente.[10]

O calor é, então, a transferência de energia que se aproveita do movimento caótico das moléculas, como resultado de uma diferença de temperatura. Assim, quanto maior a temperatura maior o movimento das moléculas e, portanto, quando há a transferência de energia na forma de calor para o ambiente, há um aumento no movimento das moléculas do

ambiente. Por isto, quando dissipamos calor, aumentamos este movimento. Da mesma forma, quando a radiação da região do infravermelho é refletida pelos gases de efeito estufa, há um aumento do movimento das moléculas que compõem o ar da troposfera.[5,10,21]

As moléculas do ambiente, portanto, são capazes de transferir calor para nossa pele, quando a temperatura da pele é menor que a temperatura do ar, como num dia quente. Por outro lado, nossa pele também é capaz de ceder calor para os outros objetos do ambiente. Por exemplo, quando sentamos numa cadeira durante um certo tempo, ao levantar percebemos que o assento da cadeira está quente, isto porque cedemos nosso calor corporal para a cadeira, para que a temperatura da cadeira se iguale a temperatura do corpo. Também podemos perder calor para as moléculas do ar que nos rodeia, quando o ar está em uma temperatura menor do que a da pele. Isto ocorre devido à transferência da energia pela pele, cujas moléculas também estão o tempo todo vibrando.[10]

Quando a temperatura do ambiente é mais baixa que a temperatura da nossa pele, nós perdemos calor para o ambiente. Quando isto acontece, o ar tende a ir para uma parte mais alta, pelo movimento de convecção, que é a remoção de calor por correntes aéreas de condução. Então, quando a temperatura do nosso corpo é maior do que a temperatura do ar que nos rodeia, há um equilíbrio térmico espontâneo, porque o ar está continuamente sendo substituído.[10]

Quando estamos em um ambiente que possui um vento seco, por exemplo, temos uma sensação de frio ou de frescor, quando o vente entra em contato com nossa pele, mesmo que a temperatura esteja alta. O vento é um movimento das moléculas de ar e neste caso, a camada de ar que está em contato com a pele é rápida e continuamente trocada pelas novas camadas de ar trazidas pelo vento. Os nossos termorreceptores estão constantemente detectando estas variações. Assim, quanto maior for a velocidade do vento, mais rapidamente o ar é trocado e maior é a sensação de frio que temos.

Da mesma forma, quando tomamos chuva, quando entramos numa piscina, mar, rio ou tomamos um banho, forma-se uma camada de água sobre a pele. As moléculas de água conseguem absorver mais calor do que as moléculas presentes no ar, além disso, a transferência de calor através da água é menor do através do ar. Por isto, nos refrescamos quando mergulhamos nosso corpo na água, num dia quente.

Como conseqüência, num dia quente, a energia do nosso corpo é utilizada para fazer as moléculas de água evaporarem, além disso, se estivermos expostos ao sol, sua energia também é utilizada para isto. Então, o próprio corpo dissipa calor, o que contribui para a água se evaporar mais rapidamente. Ao contrário de um dia frio, onde o ar não consegue transferir calor para água para evaporá-la, por isto sentimos mais frio quando o corpo está molhado nestas condições. Mas, também sentimos frio com o corpo seco! Isto não quer dizer que a água somente faz com que o frio se intensifique, porque precisaremos de mais energia para evaporá-la.

Quando a temperatura da pele for maior do que a do ambiente, como ocorre num ambiente frio, por exemplo, é a pele que irradia e conduz calor para o ambiente. Da mesma forma, num ambiente quente, quando a temperatura ambiente é maior do que a temperatura da pele é o ambiente que transfere calor para pele por condução e por irradiação.[10]

Isto ocorre até a pele entrar em equilíbrio térmico com o meio em que se encontra. Este equilíbrio térmico é momentâneo já que num ambiente frio, a pele transfere calor para o ar, mas o ar é continuamente reposto por convecção e num ambiente quente, suamos como forma de diminuir a temperatura corporal e o suor faz com que o ar quente não consiga conduzir calor tão eficientemente para a pele.

Mas, por que é interessante para o corpo perder ou reter calor de acordo com as variações de temperatura do ambiente? Quem comanda tudo isto? O que aconteceria se a temperatura do corpo aumentasse ou diminuísse?

As velocidades das reações que ocorrem no nosso organismo dependem mais do melhor funcionamento das enzimas do que da temperatura, e as enzimas do nosso corpo funcionam a uma temperatura de 37°C. Quando a temperatura corporal interna fica menor que esta ocorre uma diminuição das velocidades das reações, o que diminui o metabolismo. Por outro lado, se a temperatura interna for maior, as enzimas podem se desnaturar, passando a não funcionar mais, conseqüentemente, as reações do organismo não ocorrem, pois estão sem catalisadores. No entanto, é importante lembrar que o metabolismo pode ser alterado de outras formas, não somente a partir da influencia da temperatura corporal.[10,11,12]

Como os mecanismos para regular a temperatura não são 100% efetivos, a temperatura corporal interna pode variar levemente quando a pessoa tem febre, ou quando é exposta a um ambiente extremamente frio ou quente, ou em exercícios físicos muito

intensos. Mas, mesmo nestes casos a temperatura corporal varia ligeiramente dentro de uma faixa aceitável para que as enzimas não se desnaturem ou para que o metabolismo não cair muito.[10-12]

De qualquer forma, as variações de temperatura do ambiente que são captadas pelos termorreceptores faz com que eles avisem os neurônios do cérebro, mais precisamente do hipotálamo, que a temperatura do ambiente está alta. Estes, para manter a temperatura corporal interna constante, comandam uma série de processos para dissipar ou reter o calor.[10-14]

Assim, como conseqüências, podemos ter calafrios, suor, constrição ou dilatação dos vasos sanguíneos. Mas, além disso, os neurônios do hipotálamo também comandam outras funções como os comportamentos motivados de buscar calor ou de procurar se refrescar. Isto porque os neurônios do hipotálamo também estão conectados com neurônios de outras partes do cérebro, bem como com glândulas que liberam os hormônios responsáveis por realizar os processos fisiológicos necessários para manter a temperatura corporal.[10,13,14]

Como será que o hipotálamo regula a temperatura corporal? Será que algo pode alterar este sistema? Por que procuramos nos aquecer quando estamos com frio ou nos refrescar quando estamos com calor? O que acontece no corpo quando se está com febre? Estas questões serão abordadas na próxima parte do texto.

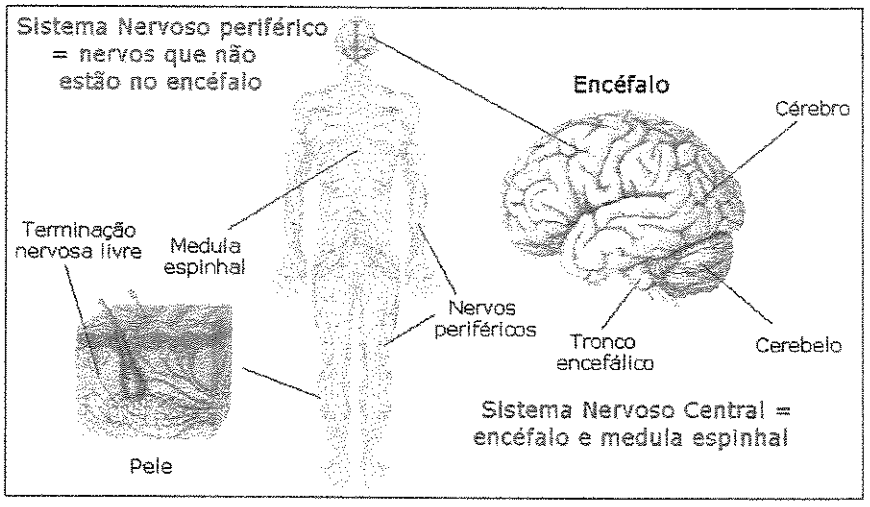
• Modo como o cérebro regula a temperatura corporal

Basicamente, os termoreceptores estão conectados com os neurônios da medula espinhal, que por sua vez estão conectados com os neurônios sensíveis à temperatura, localizados no hipotálamo. No entanto, esta é uma forma muitíssimo simplificada de explicar as conexões entre estas células, pois dentre esta via existem muitos nervos e outras células envolvidas, que são fundamentais para manter a temperatura corporal interna constante. Porém, neste texto estaremos explicando de uma forma mais simplificada e generalizada estas conexões, ressaltando somente a função destes três tipos de células.[13,14]

Os termoreceptores são terminações nervosas livres que estão distribuídas por toda a pele, fazendo parte, assim, do sistema nervoso periférico. Os neurônios sensíveis à

temperatura, presentes na medula espinhal, detectam as variações de temperatura do sangue, ou seja, como estes neurônios estão conectados com os termoreceptores, são eles que enviam a informação da variação da temperatura do ambiente para o hipotálamo, uma importante região do cérebro.* Os neurônios do hipotálamo e da medula espinhal fazem parte do sistema nervoso central que comanda o periférico, conforme ilustrado no esquema da figura **6**.[13,14]

Figura 6 - Representação da divisão do sistema nervoso em central e periférico.



Quando o hipotálamo recebe uma informação dos neurônios da medula espinhal de que a temperatura do ambiente está baixando ou aumentado, o que pode alterar a temperatura corporal interna, ele comanda uma série de reações para manter esta temperatura constante. Isto porque o hipotálamo está conectado com o sistema nervoso vegetativo, que por sua vez faz parte do sistema nervoso periférico.[10,13,14]

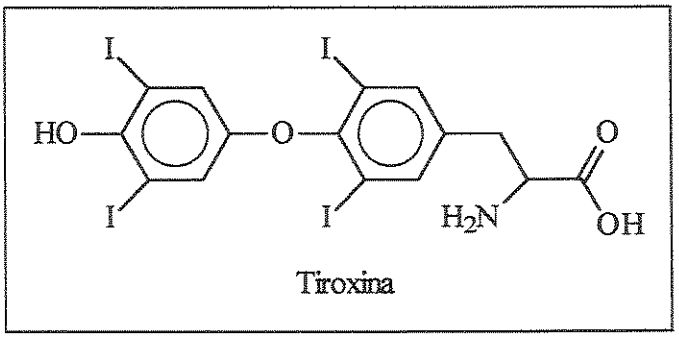
Então, o sistema nervoso periférico pode ser dividido em dois grandes grupos: o somático, do qual fazem parte os termoreceptores, e o vegetativo, que é subdivido em simpático e parassimpático. São estas subdivisões que comandam as respostas corporais, de tal forma que é ação dos seus neurônios que comandam, por exemplo, a dilatação dos vasos sanguíneos, o que nos faz ficar vermelhos quando a temperatura do ambiente está alta; ou os tremores corporais, conseqüências de quando ela está baixa.[13,14]

* Ver *"Neuroquímica e Sensações"*, página 171.

Estes comportamentos são instintivos, pois não podemos controlá-los. Outros como procurar um agasalho, beber líquidos quentes quando a temperatura do ambiente está baixa; ou de querer mergulhar numa piscina num dia de calor, são aprendidos, que também são comandados pelo hipotálamo, que também está conectado com outros neurônios do cérebro.[13,14]

Para coordenar o sistema nervoso vegetativo, o hipotálamo libera hormônios que circulam pelo sangue até chegarem em receptores de uma glândula chamada de hipófise, que, por sua vez, também libera hormônios* para outras partes do corpo. Para reter o calor, quando a temperatura do ambiente está baixa, o hipotálamo secreta um hormônio chamado de TSH (uma glicoproteína) avisando a hipófise. Esta, por sua vez, estimula a glândula tireóide, que libera um outro hormônio chamado de tiroxina, cuja estrutura está na figura 7, que faz o organismo reter calor para enfrentar o frio.[10,11,12,24,25]

Figura 7 – Estrutura da tiroxina.



Tiroxina

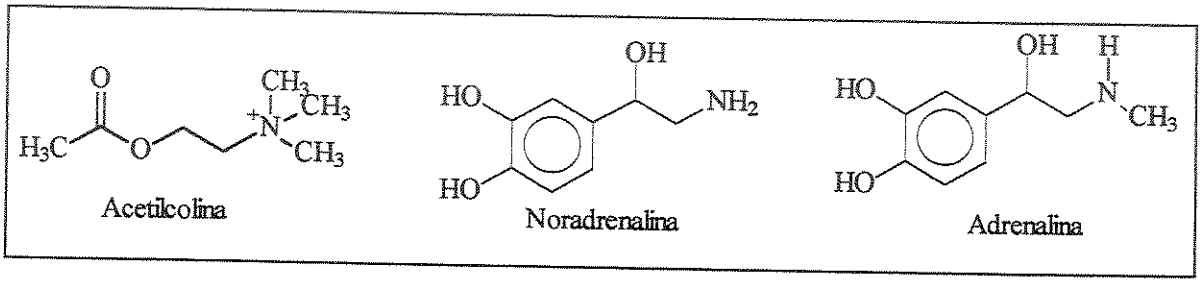
Além disso, quando a temperatura do ambiente está baixa, o hipotálamo, conectado com o sistema nervoso vegetativo, ativa o sistema simpático para assim contrair os vasos sanguíneos da pele, ativar a ereção dos pêlos e os tremores. Através das conexões entre os neurônios do hipotálamo com os de outras partes do cérebro, há o comando para o comportamento motivado, ou seja, para que a pessoa procure calor, um lugar mais quente ou vestir agasalhos.[13,14]

---

* Os hormônios são substâncias produzidas e secretadas pelo próprio organismo, que circulam pela corrente sanguínea até atingir os receptores específicos que estão localizados em determinados órgãos, onde exercem suas funções.

Por outro lado, quando a temperatura ambiental está alta, os neurônios do hipotálamo diminuem a liberação do hormônio TSH para a hipófise, que por sua vez diminui a produção de tiroxina, o que diminui o metabolismo, por isto o corpo tende a dissipar calor. Além disso, ele também comanda os neurônios parassimpáticos para dilatar os vasos sanguíneos. Quando aumenta a temperatura, os neurônios simpáticos também ativam a produção de acetilcolina, noradrenalina e de adrenalina (figura 8), que circulam no sangue até chegar às glândulas sudoríparas, que produzem o suor. Além da alta temperatura externa, outros comportamentos podem estimular a ativação das glândulas sudoríparas como alguns estados emocionais e exercícios físicos.[10-14,25]

Figura 8- Estruturas da adrenalina, noradrenalina e acetilcolina.

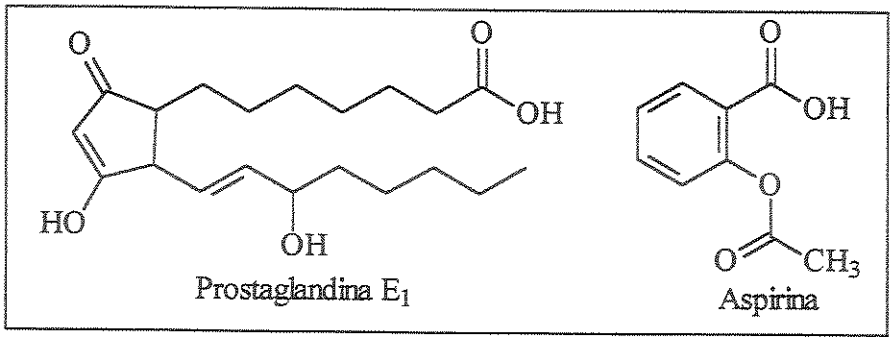


Porém, este mecanismo não é 100% eficiente. Já mencionamos que quando a temperatura externa se eleva ou diminui muito, a temperatura corporal interna pode variar. Além disso, quando a pessoa tem febre a temperatura interna aumenta. Neste caso, algumas células do sistema imunitário, envolvidas no combate às bactérias, podem liberar substâncias (citocinas pirogênicas) que entram no hipotálamo e aumentam a temperatura corporal normal.[10,23,24]

Os sintomas típicos da febre incluem aumento dos batimentos cardíacos, aumento da freqüência respiratória, dor de cabeça. No inicio da febre a pessoa também pode sentir calafrios, ficar com a pele fria e pálida, porque os vasos sanguíneos se contraem. Posteriormente, a pele fica avermelhada e esquenta e a temperatura alcança seu pico máximo e a pessoa começa a suar intensamente. A febre, independentemente da sua causa, aumenta a velocidade metabólica. Isto porque aumenta a velocidade de todas as reações do corpo. No entanto, o sistema de controle da temperatura corporal diminui um pouco este efeito.[10]

Os compostos que provocam a febre, os pirogênios, podem ser secretados por bactérias tóxicas ou podem ser liberadas por tecidos do próprio corpo. Um dos compostos que o próprio hipotálamo libera quando uma pessoa tem febre é a prostaglandina E_1. Muitas substâncias que inibem a síntese das prostaglandinas inibem a dor, tal como a aspirina. As estruturas da aspirina e da prostaglandina E_1* estão na figura **9**.[10,23,5,26]

Figura 9- Estrutura da prostaglandina E_1 e da aspirina.

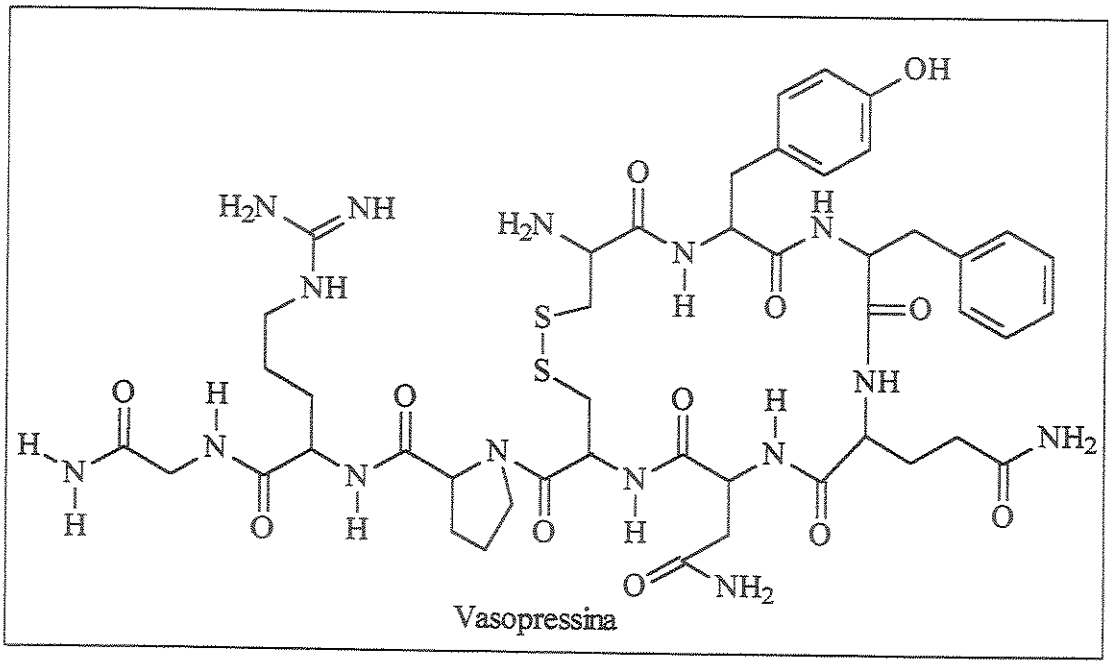


A prostaglandina só é produzida no cérebro quando a pessoa está com febre. Por outro lado, é produzida em outras partes do organismo quando a pessoa está com dor. Como a aspirina age diretamente no local onde a prostaglandina é produzida, ela também pode ser usada para diminuir a dor, mesmo quando a pessoa não está com febre. Além disso, neste caso não diminui a temperatura corporal, pois não existem prostaglandinas no cérebro.[24-26]

Além disso, o próprio cérebro também libera uma substância para diminuir a temperatura corporal quando a pessoa está com febre. Esta substância é um peptídeo chamado de vasopressina, liberado por uma área do cérebro conhecida como área antipirética, que limita a magnitude da resposta febril. A estrutura da vasopressina está na figura **10**.[10]

* Ver *" Dor: Sensação Boa ou Ruim?"*, páginas 209 a 211.

Figura 10- Estrutura da vasopressina.



Vasopressina

• Considerações finais

De forma interdisciplinar, neste texto, discutimos a interação da energia emitida pelo sol com as moléculas da atmosfera. Esta abordagem pode ser explicada tanto em disciplinas de química ambiental, quanto nas de físico-química. Por outro lado, os conceitos de vibração, absorção de radiação do infravermelho, são utilizados para explicar os princípios da espectroscopia do infravermelho, uma técnica largamente utilizada para caracterização de moléculas, nas diversas áreas da química.

O diálogo estabelecido neste texto é diferente de qualquer outro existente nos livros de química ambiental, físico-química e de fisiologia humana. Na realidade, relacionamos os conceitos destas áreas que pareciam completamente desconexos.

CAPÍTULO 5

"Sensações de Sabor"

Beber a vida num trago, e nesse trago
Todas as sensações que a vida dá
Em todas as suas formas [...]
Dantes eu queria
Embeber-me nas árvores, nas flores,
Sonhar nas rochas, mares, solidões.
Hoje não, fujo dessa idéia louca:
Tudo o que me aproxima do mistério
Confrange-me de horror. Quero hoje apenas
Sensações, muitas, muitas sensações,
De tudo, de todos neste mundo — humanas,
Não outras de delírios panteístas
Mas sim perpétuos choques de prazer
Mudando sempre,
Guardando forte a personalidade
Para sintetizá-las num sentir.
Fernando Pessoa[1]

Nossa sobrevivência está relacionada com a sensação de sabor, pois ela está relacionada com a fome, com a vontade de comer e com os alimentos que precisamos ou que não devemos ingerir. O sabor é culturalmente estabelecido, por isto cada povo tem uma alimentação e uma preferência alimentar característica.

Assim, o que é rejeitado por uma cultura, pode ser bem aceito por outra. Por exemplo, existem muitos povos que gostam de comer insetos, como formigas, gafanhotos, besouros, dentre outros. O que para eles faz parte do "cardápio", para nós brasileiros é inconcebível.

Portanto, não é só de valor nutricional que é feito um alimento! Mais do que isso, seu sabor é importante para determinar se este alimento vai ou não ser bem aceito. Além disso, os diferentes alimentos têm características físicas, como a textura, a aparência, a forma, a dureza, a cor e a temperatura, diferentes. Desta forma, antes de ingerirmos um alimento, fazemos uma análise sensorial, que é fundamental para determinar nossa preferência por ele. As sensações visuais, muitas vezes, comandam sua ingestão ou não, por

exemplo, quantas vezes nós não comemos sem estar com fome, simplesmente, porque a comida tinha uma boa aparência? Ou ainda, quantas vezes nós rejeitamos certos alimentos, sem nunca termos experimentado, só porque ele não "parece" ser bom?

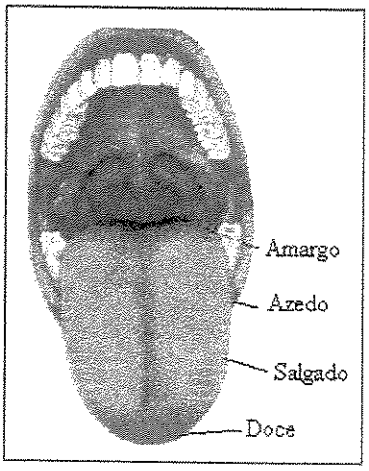
Mas, o que caracteriza o gosto de um determinado alimento, não é somente o sabor, mas, principalmente, o aroma, que é percebido por dois órgãos do sentido: o nariz e a língua; portanto, é uma mistura de paladar com olfato. O aroma e o odor serão discutidos no próximo capítulo. Neste discutiremos, como os receptores gustativos localizados na língua identificam o sabor de um determinado alimento, através do sentido do paladar, relacionando cada tipo de sabor com as principais substâncias que o causa.[2-7]

O paladar, assim como os outros sentidos, é utilizado pelo organismo para identificar as substâncias presentes no ambiente e está ligado às nossas necessidades tais como: sede, fome, emoção e memória. O sabor é, inclusive, uma forma de defesa, pois quando ingerimos um determinado alimento, a sensação que ele provoca fica gravada na memória como sendo prazerosa ou não. Os alimentos estragados e os venenos, muitas vezes, podem ser reconhecidos, pois provocam um sabor desagradável.[2-8]

Existem milhares de moléculas que podem evocar uma grande variedade de sabores, mas, provavelmente, nós só somos capazes de reconhecer quatro sabores básicos, o doce, o amargo, o azedo ou ácido e o salgado. Estas moléculas interagem com receptores sensíveis a elas, que como qualquer outro tipo de receptor sensorial, enviam mensagens ao encéfalo, onde a sensação de sabor é interpretada.[2-5,9,10]

Os receptores sensíveis aos sabores azedo, amargo, doce e salgado são diferentes e estão espalhados por toda a boca, mas estão concentrados principalmente na língua. A língua como um todo é sensível para perceber estes tipos de sabores; porém, algumas de suas regiões são mais sensíveis em identificar um determinado sabor do que outro. Por exemplo, a ponta da língua é mais sensível ao sabor doce, o fundo ao amargo e as laterais ao salgado e azedo, tal como podemos observar na figura 1.[2-10]

Figura 1 – Ilustração das regiões da língua mais sensíveis ao sabor doce, amargo, azedo e salgado.

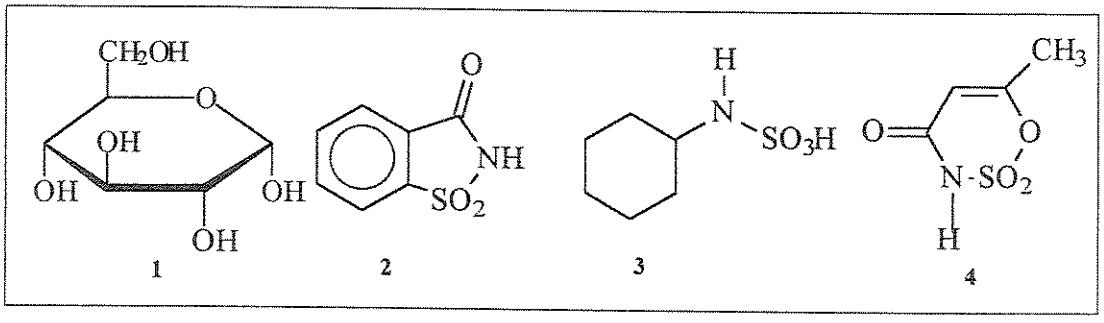


As moléculas que evocam as sensações de sabor possuem estruturas químicas muito diversas. Quais são estas moléculas? O que elas fazem? O que elas têm em comum? Como estimulam os receptores localizados na língua? Estas e outras questões serão discutidas a seguir.

- **Diferenças de sensação de sabor**

Vamos observar as estruturas da figura **2**.

Figura 2 – Estruturas de algumas moléculas que evocam o sabor doce.



Estas moléculas possuem estruturas "aparentemente" muito diferentes. Mas, todas elas provocam a mesma sensação! A de sabor doce! Como isto é possível? Como moléculas tão diferentes conseguem estimular o mesmo receptor? O que elas têm em comum?

Observando melhor estas estruturas, podemos verificar que a molécula **1**, que é a glicose, possui várias hidroxilas próximas umas das outras. A molécula **2**, que é a sacarina, possui um grupo eletronegativo $-SO_2$ próximo a um grupo $-NH$; isto também pode ser observado na molécula **3**, que é o ácido ciclâmico, que possui um grupo eletronegativo $-SO_3H$ próximo a um grupo $-NH$; o mesmo ocorre na molécula **4**, o acessulfame, que possui um grupo $-SO_2$ vizinho a um grupo $-NH$.[11-14] O que elas possuem em comum é o fato de todas apresentarem grupos eletronegativos, tal como o $-SO_2$, próximo a um outro átomo eletronegativo ligado a um átomo de hidrogênio, como no caso do grupo $-NH$ ou $-OH$. Mas, o que será que isto determina?

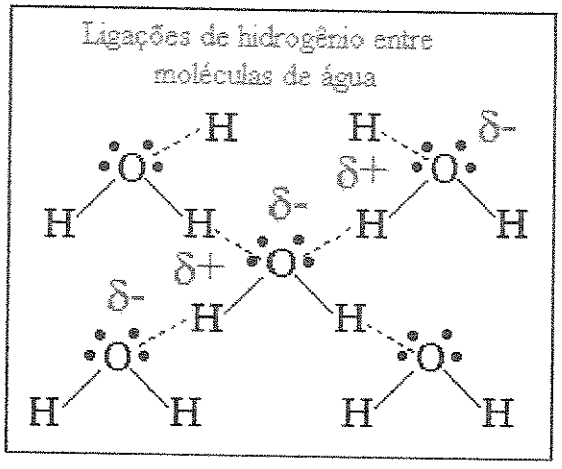
O grupo eletronegativo destas moléculas pode realizar uma ligação de hidrogênio com um hidrogênio ligado a um átomo eletronegativo; assim como hidrogênio ligado a um átomo eletronegativo pode realizar uma ligação de hidrogênio com um átomo eletronegativo.[15-18]

Moléculas que são sentidas como doces, tais como a glicose, a sacarina, o ácido ciclâmico e o acessulfame, possuem a propriedade de fazer ligações de hidrogênio com os receptores da língua. Estas interações o estimulam, o que causa o envio de uma mensagem ao encéfalo, que interpreta o sabor como doce.[11-14]

Então, podemos observar que as ligações de hidrogênio são determinantes para sentirmos este tipo de sabor. Podemos nos perguntar: porque a água, que faz inúmeras ligações de hidrogênio, não evoca sabor nenhum?

As ligações de hidrogênio da água ocorrem entre o hidrogênio do grupo hidroxila ($-O—H$) de uma molécula e os elétrons não compartilhados do oxigênio de outra molécula. Como o oxigênio é mais eletronegativo que o hidrogênio, os elétrons que compõem as ligações covalentes estão mais próximos dele. Por isto, o oxigênio tende a ficar com uma alta densidade eletrônica ($\delta-$), enquanto o hidrogênio fica com baixa densidade eletrônica ($\delta+$), portanto, a água é uma molécula polar, conforme destacado na figura **3**.[15-17]

Figura 3 – Ilustração das ligações de hidrogênio da água.



No entanto, não se sabe ao certo, qual é o arranjo das moléculas de água, mas, possivelmente, as interações são deste tipo. As ligações de hidrogênio só ocorrem quando átomos eletronegativos e pequenos, com o nitrogênio, oxigênio e o flúor estão ligados a átomos de hidrogênio. Por exemplo, na água, como cada ligação *–O—H* da molécula é polar, o átomo de oxigênio, que é muito eletronegativo, exerce uma forte atração sobre os elétrons da ligação, e o próton fica muito desprotegido. Por ser tão pequeno, o átomo de hidrogênio, que possui uma carga positiva, pode se aproximar de um dos pares de elétrons isolados do átomo de oxigênio da outra molécula. O núcleo do átomo de hidrogênio atrai, então, o par de elétrons não compartilhado do átomo de oxigênio da outra molécula de água.[15-17]

Quando átomos maiores, tais como o enxofre ou o cloro, estão ligados ao hidrogênio, também há formação de um momento dipolar, porém muito mais fraco; assim as moléculas não interagem mais através de ligações de hidrogênio, mas sim através de interações mais fracas denominadas dipolo-dipolo.[15-17]

As ligações de hidrogênio são interações moleculares que ocorrem quando os elétrons isolados dos átomos eletronegativos interagem com o hidrogênio, portanto elas ocorrem entre moléculas que contém um átomo eletronegativo, que podemos representar por ***A***, ligado a um átomo de hidrogênio (*A—H*) e um outro átomo eletronegativo, que podemos representar por ***B***.[11,12,15-17]

Como discutimos, a molécula de água não tem sabor. Mas, por que isto ocorre? O que uma molécula precisa ter para evocar esta sensação? Conforme já mencionamos, existem quatro tipos de sabores básicos e cada um deles é evocado por uma classe característica de moléculas. Por exemplo, observando as moléculas que evocam o sabor doce ou amargo, podemos notar que elas são poliatômicas, e dentre estes átomos que as compõem, há um eletronegativo ligado a um hidrogênio e um outro eletronegativo em posições próximas. Já os compostos que evocam sabor azedo, em geral, são ácidos orgânicos e inorgânicos. Por outro lado, os que evocam sabor salgado, em geral, são sais. A Água não se encaixa em nenhuma dessas categorias e é por isto que não evoca nenhum sabor.[11,12]

Na verdade, todos os compostos que são sentidos como doces possuem um centro eletronegativo ligado a um hidrogênio (*A—H*); além disso, também possuem um outro grupo eletronegativo (*B*). Porém, para que o composto seja percebido como doce, estes grupos têm que estar separados por uma distância de aproximadamente *2,5 a 4,0 Å*. Qualquer modificação nesta distância pode fazer com que o sabor seja alterado de doce para amargo, ou fique sem sabor. Isto quer dizer que não existe muita diferença estrutural entre os compostos que causam a sensação de doce e de amargo![11-14,18]

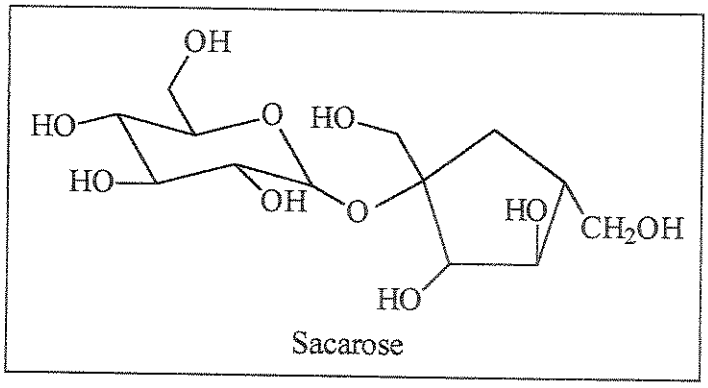
No entanto, é importante lembrar que a língua não é uma região seca, pelo contrário, a saliva faz com que ela seja constantemente úmida. Além disso, os alimentos, geralmente, também possuem muitas moléculas de água, portanto, as moléculas que são capazes de evocar uma sensação de sabor, estão dissolvidas em moléculas de água, realizando, desta forma, ligações de hidrogênio com elas. Então, é possível que seja a camada de água que se forma ao redor dessas moléculas que interaja com o receptor estimulando-o.

Os receptores presentes na língua possuem proteínas que têm em suas estruturas grupos que apresentam átomos eletronegativos ligados ao hidrogênio, tal como o *–N—H*, assim como átomos eletronegativos, tal como o oxigênio. Além disso, podem possuir outros grupos com estas características, dependendo dos tipos de aminoácidos que as formam.

Estes grupos podem realizar as ligações de hidrogênio com moléculas que possuem outros grupos com estas características. Geralmente, para uma molécula ser sentida como doce, é preciso que ela faça duas ligações de hidrogênio proporcionais com o receptor, ou

seja, com os aminoácidos da proteína. Por exemplo, a sacarose, que é o açúcar comum, cuja estrutura está ilustrada na figura 4, é sentido como doce porque possui duas hidroxilas próximas, sendo que uma pode agir como um grupo ***A—H*** e o oxigênio da outra pode agir como o grupo ***B***.[11-14,19]

Figura 4 – Estrutura da sacarose.



Sacarose

Portanto, as duas ligações de hidrogênio que ocorrem entre os grupos da sacarose e os aminoácidos do receptor para o sabor doce o estimulam, que faz com que sinais sejam enviados ao encéfalo.

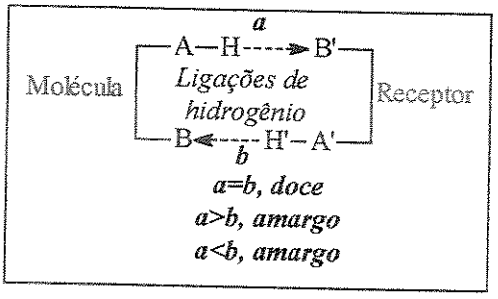
Porém, estima-se que a sacarina, por exemplo, é 110 vezes mais doce que a sacarose. O que as diferencia? Por que isto ocorre? Será que existe algum outro grupo na sacarina que faz com que ela provoque esta sensação de maneira mais intensa?

Os grupos ***A—H*** e ***B*** tanto da sacarina, quanto da sacarose, podem interagir entre si por estarem muito próximos, mas quando em contato com a língua interagem com o receptor sensível para o sabor doce, fazendo com ele duas ligações de hidrogênio. Estas ligações devem ser de mesma intensidade, ou seja, o receptor sensível ao sabor doce deve possuir os grupos ***A—H*** e ***B*** similares aos da molécula, para diferenciá-los chamaremos estes grupos de ***A'—H'*** e ***B'***.[11,12]

No entanto, os compostos que são sentidos como amargos também possuem os grupos ***A—H*** e ***B***, que interagem com o receptor sensível ao sabor amargo fazendo com ele duas ligações de hidrogênio. Então, o que diferencia uma molécula que evoca o sabor doce de outra que evoca o amargo? A maior diferença está no fato das ligações de hidrogênio que estes grupos fazem com os receptores não serem proporcionais.[11,18]

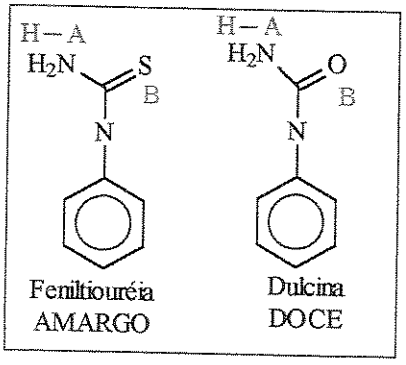
Na figura **5**, há um diagrama que ilustra estas interações, representadas pelas letras ***a*** e ***b***. Quando a interação ***a*** for proporcional a ***b***, o composto é sentido como doce, ou seja, o receptor deve ser complementar a este grupo, possuindo grupos similares há uma mesma distância. Por outro lado, quando ***a*** for mais ou menos intensa que ***b***, o sabor será percebido como amargo.[12]

Figura 5- Representação das ligações de hidrogênio entre o receptor e as moléculas com sabores amargo e doce.



Portanto, qualquer variação na natureza e na posição dos grupos ***A—H*** e ***B*** da molécula pode causar uma mudança do sabor que ela causa de doce para amargo. Porém, isto ainda não explica porque a sacarina é muito mais doce que a sacarose, mas explica a diferença de sabor de compostos estruturalmente similares e que possuem sabores diferentes, tal como a feniltiouréia que é sentida como amarga e a dulcina que é sentida como doce, conforme ilustrado na figura **6**.[11,12]

Figura 6- Estruturas da feniltiouréia e dulcina.

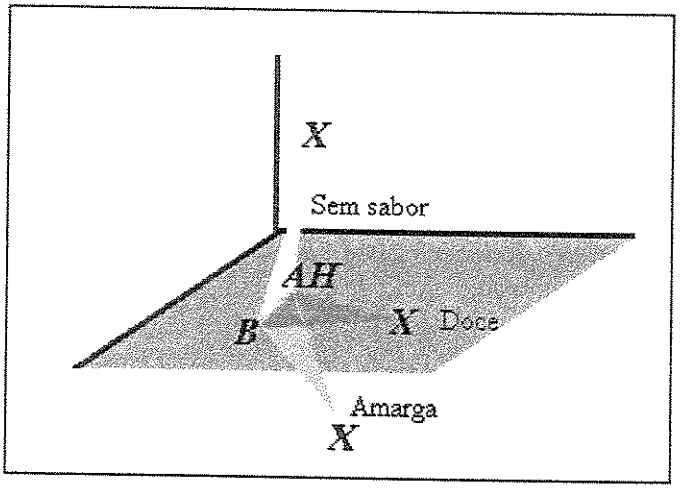


Podemos observar que estas moléculas possuem grupos *A—H* e *B*, mas evocam sabores diferentes, porque a distância entre estes grupos pode variar conforme o tamanho do átomo, como no caso da feniltiouréia. Neste caso, como o enxofre é menos eletronegativo que o oxigênio, a ligação de hidrogênio não ocorre, mas sim a interação dipolo-dipolo e por isto ela provoca o sabor amargo.

Porém, as ligações de hidrogênio não devem ser as únicas responsáveis pelo sabor, porque se fossem não haveria diferenças na intensidade do sabor, tal como existe entre a sacarina e a sacarose. Portanto, deve existir um outro grupo na molécula que faz com que a sacarina seja muito mais doce que a sacarose e que quando substituído ou retirado, faz com que a molécula mude de sabor. Qual será este grupo?

Este grupo, representado pela letra *X*, é um grupo lipofílico, rico em elétrons, localizado no mesmo plano dos grupos *A—H* e *B*, formando o chamado triângulo da doçura, conforme ilustrado na figura 7.[11,18]

Figura 7- Indicação do sabor, em função da localização dos grupos AH, B e X.



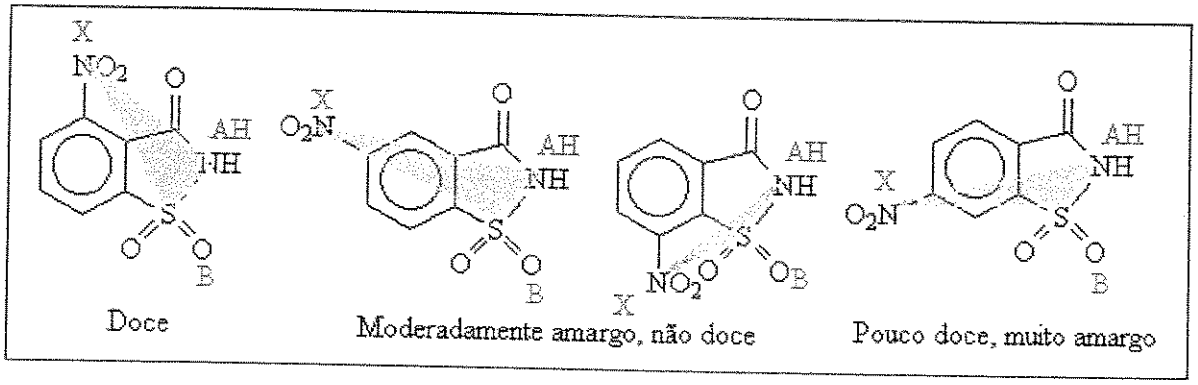
Portanto, o arranjo espacial da molécula influi no seu sabor, pois para que a molécula seja percebida como doce, o grupo *X* deve estar localizado no mesmo plano dos grupos *A—H* e *B*, formando um triângulo que, na figura 7, está representado pela cor cinza. Além disso, deve estar localizado há uma distância de *3,5 Å* de *AH* e de *5,5 Å* de *B*, formando assim um triângulo escaleno.[11-14,18]

Qualquer alteração na posição destes grupos pode causar uma alteração no sabor; por exemplo, se o grupo *X* estiver localizado acima do plano, o composto não causará sabor, como é o caso do triângulo representado pela cor amarela. Mas, se o grupo *X* estiver localizado abaixo do plano, como no caso do triângulo azul, o composto será sentido como amargo. Além destas alterações, se houver uma alteração nas distâncias dos lados do triângulo o sabor também poderá mudar.[11]

Por exemplo, você sabia que a sacarina pode ficar amarga se for feita uma pequena modificação em sua estrutura, como a introdução de um grupo nitro numa determinada posição do seu anel aromático? O que será que este substituinte modifica na estrutura da sacarina? Como moléculas tão parecidas têm sabores tão diferentes?

O triângulo da doçura explica a mudança do sabor causada na sacarina, pois seu o grupo *X* é o próprio anel aromático, que é rico em elétrons. Quando não está substituído, as distâncias do triângulo da doçura são respeitadas, mas quando a sacarina encontra-se substituída por um grupo fortemente retirador de elétrons, tanto por ressonância, quanto por efeito indutivo, como é caso do grupo nitro, o grupo *X* passa a ser ele e se ele estiver localizado em um ponto da molécula onde as distâncias do triângulo da doçura podem mudar, seu sabor também pode mudar, conforme o exemplo da figura 8.[11,12]

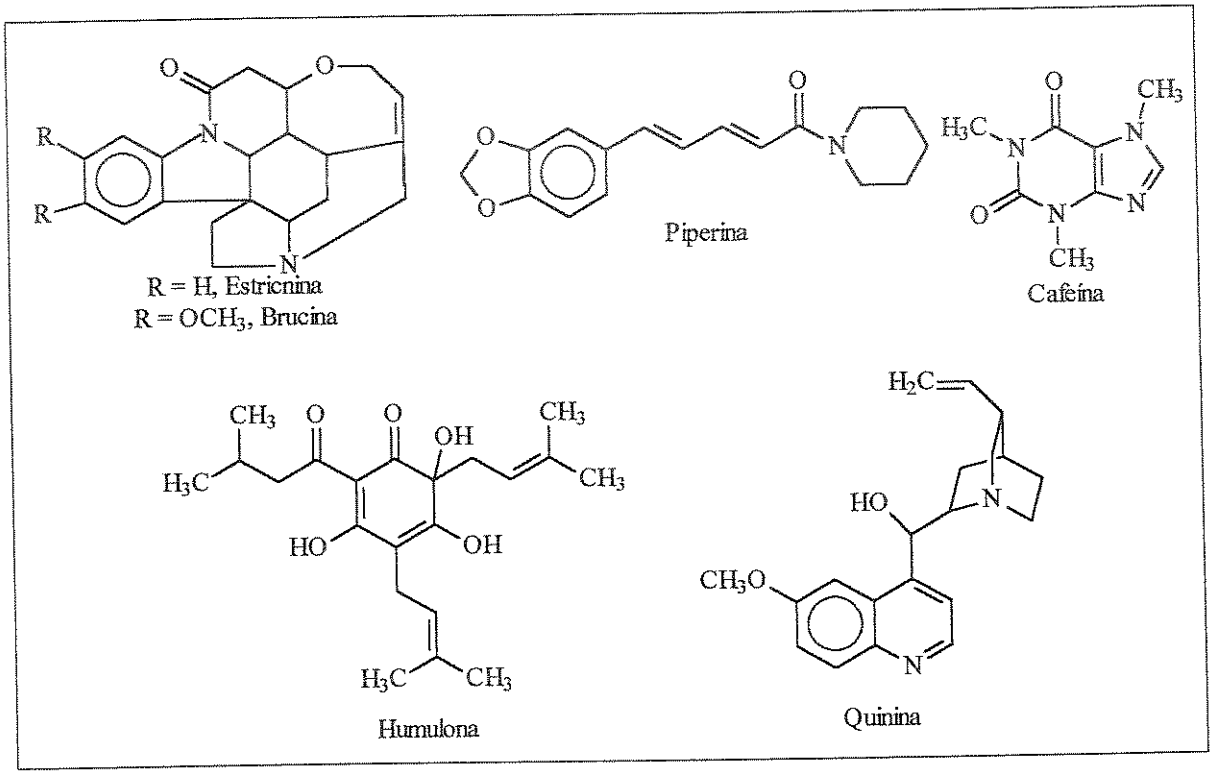
Figura 8- Exemplos de variação de sabor da sacarina, conforme a posição do substituinte.



Analisando as estruturas destes compostos, podemos observar que quando o grupo nitro está localizado num ponto da molécula onde o triângulo da doçura é respeitado, seu sabor continua sendo sentido como doce, porém quando há alterações nas distâncias do triângulo o sabor passa a ser sentido como amargo.

O triângulo da doçura e as ligações de hidrogênio explicam porque determinados compostos são doces, enquanto outros são amargos. Compostos como a estricnina, a brucina, a piperina e a quinina, que está presente na água tônica e que pode ser utilizada no tratamento da malária; bem como a cafeína, encontrada no café e no chá preto, a humulona, presente no lúpulo, componente da cerveja, são exemplos de moléculas sentidas como amargas. As estruturas dos compostos mencionados estão na figura 9.[11,7,18]

Figura 9- Estruturas dos compostos com sabor amargo.



Estes compostos possuem estruturas muito diferentes, mas todos eles possuem em comum o mesmo sabor, o amargo, em maior ou em menor proporção, o que é devido às diferentes interações entre a molécula e o receptor sensível para o sabor amargo presente na língua.

Conforme discutimos, a diferença entre as moléculas que evocam o sabor doce e o amargo são muito sutis. Mas, quais são as moléculas que causam sabor doce? Qual sua

importância em nossa cultura? Por que moléculas, como a sacarina, podem ser utilizadas como adoçantes? Estas e outras questões serão discutidas a seguir.

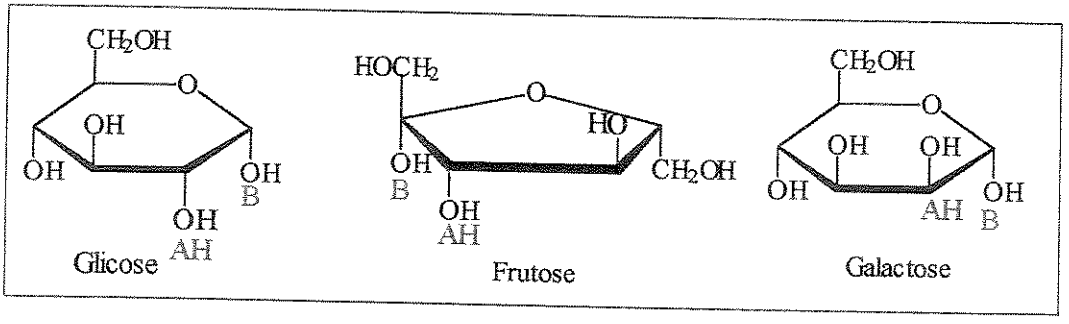
- **Açúcares e adoçantes**

Os compostos que são sentidos como doces também possuem estruturas muito diferentes e em geral são classificados como açúcares e adoçantes. Qual a diferença entre açúcares e adoçantes?

Em geral, os adoçantes possuem um alto poder edulcorante, ou seja, são sentidos como intensamente doces, o que ocorre devido ao foto de possuírem em suas estruturas o triângulo da doçura. Além disso, geralmente, os adoçantes não são metabolizados pelo organismo e, por isso, possuem importantes aplicações, sendo utilizados para a redução das calorias, em alimentos dietéticos, para prevenir a formação de cáries e podendo ser consumidos por diabéticos.[20-25]

Os açúcares pertencem à classe dos carboidratos ou sacarídeos e são substâncias naturalmente doces, como por exemplo, a sacarose. Entre muitos carboidratos, os que são, geralmente, utilizados para conferir o sabor doce aos alimentos são a glicose, a frutose e a galactose, ilustrados na figura **10**.[7,8,16,24]

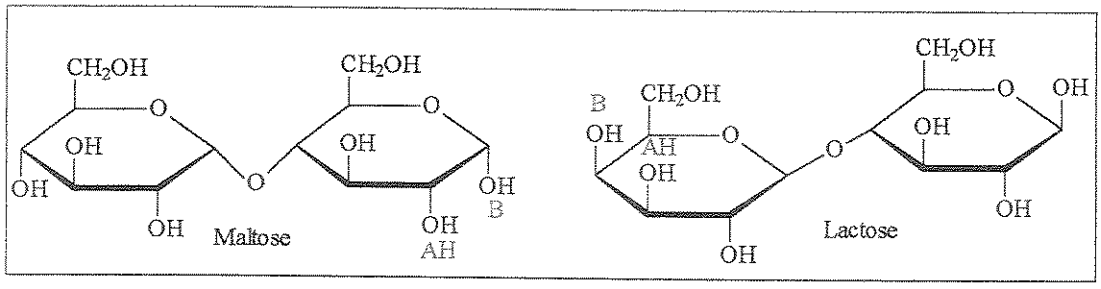
Figura 10- Estruturas da glicose, da galactose e da frutose.



Estes compostos possuem muitas hidroxilas e quando duas delas estão próximas, a uma distância de *2,5-4,0 Å*, uma pode agir como o grupo ***A—H*** e outra como o grupo ***B***, conforme destacado na figura **10**. Geralmente estes compostos não possuem o grupo ***X***, por isto são muito menos doces que os adoçantes.[11,12]

A sacarose é o açúcar comum obtido da cana-de-açúcar ou da beterraba, é formada pela condensação da glicose e da frutose, sendo um exemplo de dissacarídeo. Além da sacarose, outros dissacarídeos são doces, tais como: a maltose que é constituída por duas glicoses e a lactose, formada pela galactose e pela glicose e é o açúcar presente no leite, suas estruturas são mostradas na figura **11**.[7,8,16,24]

Figura 11- Estrutura de alguns dissacarídeos.



Além dos compostos naturalmente doces, como os carboidratos foram desenvolvidos ou sintetizados acidentalmente outros compostos que são muito mais doces, como os adoçantes artificiais. São consumidos milhares de toneladas destes compostos por ano em todo o mundo, por isto eles são muito importantes comercialmente. Além disso, a maioria deles possui o triângulo da doçura, sendo muitas vezes mais doces que a sacarose, que é geralmente utilizada como padrão nos testes de poder edulcorante.[20-24]

Os principais adoçantes artificiais são a sacarina, o ácido ciclâmico, o aspartame e o acessulfame de potássio. Em geral, eles não são metabolizados pelo organismo, sendo eliminados integralmente e por isto são considerados como sendo sem calorias. Além disto, como seu poder edulcorante é muito maior do que o da sacarose, são utilizados em pequenas quantidades.[20-23,25-28]

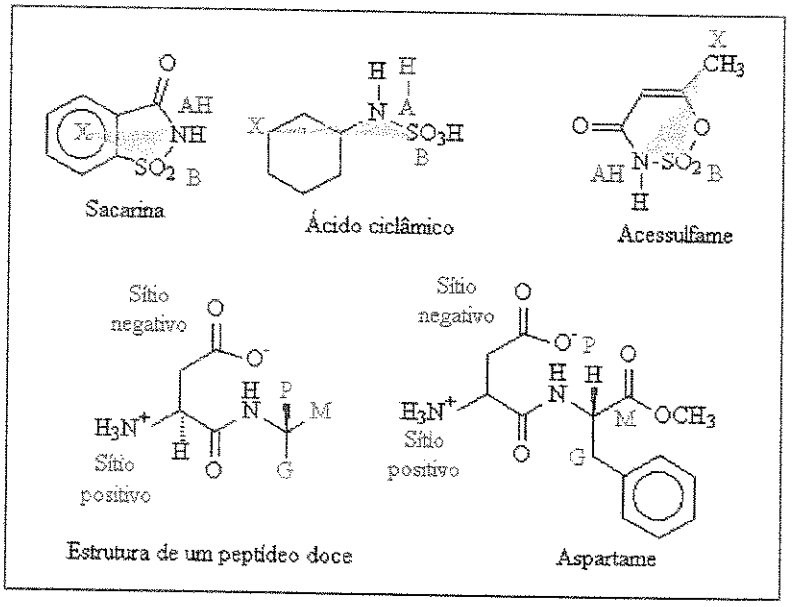
A doçura não pode ser medida quantitativamente em termos físicos e químicos absolutos, pois requer o uso de métodos sensoriais, realizados por provadores treinados; por isto quando se diz que um determinado adoçante é, por exemplo, 300 vezes mais doce que a sacarose, este valor é aproximado. Na tabela **1** encontramos valores do poder edulcorante dos principais adoçantes artificiais em relação à sacarose.[20-24]

Tabela 1- Relação entre o adoçante e seu poder de adoçar em relação à sacarose.

Adoçante	*Poder edulcorante aproximado em relação á sacarose*
Sacarina	300-500
Ciclamato	30
Aspartame	150-200
Acessulfame-K	130-200

O acessulfame de potássio, a sacarina e o ácido ciclâmico não são metabolizados pelo nosso organismo, por isto não possuem calorias. Já o aspartame, que é formado por dois aminoácidos, é metabolizado, contendo calorias, mas como possui um poder edulcorante muito maior que a sacarose, é utilizado em pequenas quantidades e suas calorias passam a ser desprezíveis.[20-23,25-28] As estruturas dos adoçantes mencionados estão na figura 12.

Figura 12- Estruturas da sacarina, do ácido ciclâmico, do acessulfame de potássio, de um peptídeo doce e do aspartame.



A sacarina é doce devido à presença dos grupos $-NH$ (***A—H***) e $-SO_2$ (***B***), que juntos com o anel aromático formam o triângulo da doçura. Uma das desvantagens da sacarina é a sua insolubilidade em água, por isto ela é vendida comercialmente nas formas ácida, sódica e cálcica. Ela possui o próton imínico (que está ligado ao nitrogênio) fortemente ácido que é o responsável pela formação dos sais de sódio e cálcio; mas quando este próton é substituído por uma metila, a sacarina deixa de ser doce, o que comprova que este hidrogênio é um dos átomos responsáveis por este sabor.[11,12]

O ácido ciclâmico é intensamente doce por possuir o triângulo da doçura, onde um grupo $-CH_2$ do anel corresponde ao grupo ***X***, o grupo $-NH$ corresponde ao grupo ***A—H*** e o grupo $-SO_3$ corresponde ao grupo ***B***, conforme foi destacado na figura **12**. Este composto é um ácido forte e por isto é capaz de formar sais com sódio, potássio e cálcio, que também são chamados de cilamatos.[12,15]

O acessulfame é mais vendido na forma de acessulfame de potássio, onde o hidrogênio ligado ao nitrogênio é substituído por um íon potássio. No entanto, quando este composto está em contato com a água, seu nitrogênio é hidrolisado e passa a ser o grupo ***A—H***, que está vizinho ao grupo $-SO_2$ (***B***). Estes grupos formam o triângulo da doçura com o grupo $-CH_3$ correspondente ao grupo ***X***.[12,15]

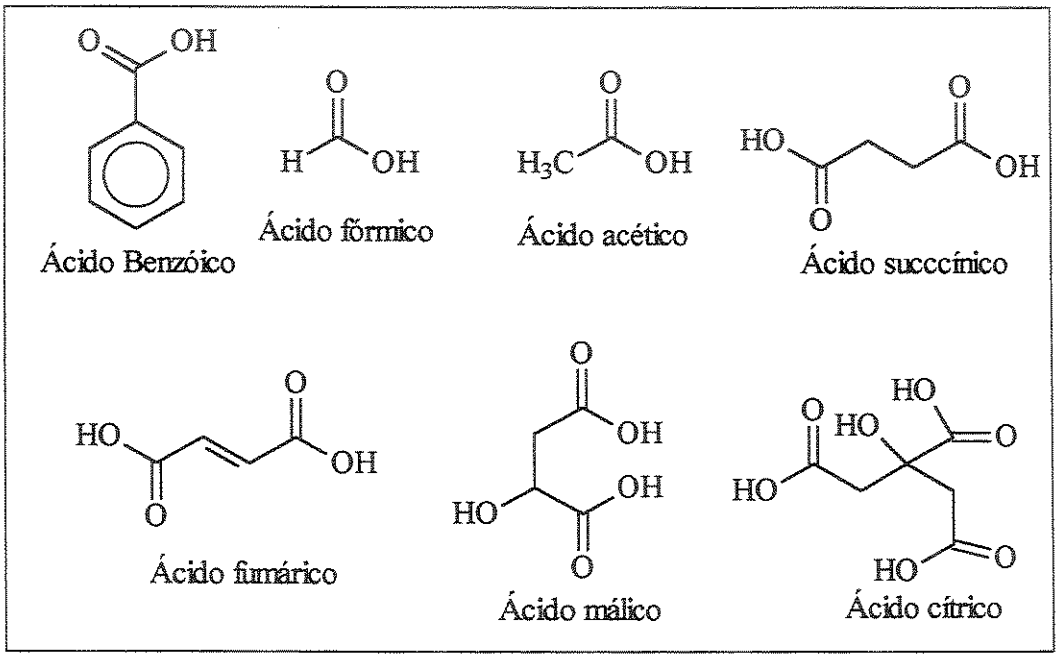
Para peptídeos como o aspartame, o sítio positivo $-NH_3^+$ corresponde ao grupo ***A—H***, já o sítio negativo que é um oxigênio de uma carbonila, corresponde ao grupo ***B***, enquanto que as cadeias laterais higroscópicas (grupo pequeno, médio e grande) corresponderiam ao grupo ***X***, formando assim o triângulo da doçura.[12,15,29]

Até agora discutimos como alguns compostos são sentidos como amargos e doces. Porém, estes não são os únicos sabores que somos capazes de reconhecer, pois também possuímos na nossa língua receptores capazes de reconhecer o sabor salgado e o azedo. Quais são os compostos que estimulam estes receptores? O que os diferenciam? Será que eles também são capazes de fazer ligações de hidrogênio com os receptores? Estas e outras questões serão discutidas a seguir.

- **Sabor salgado e azedo**

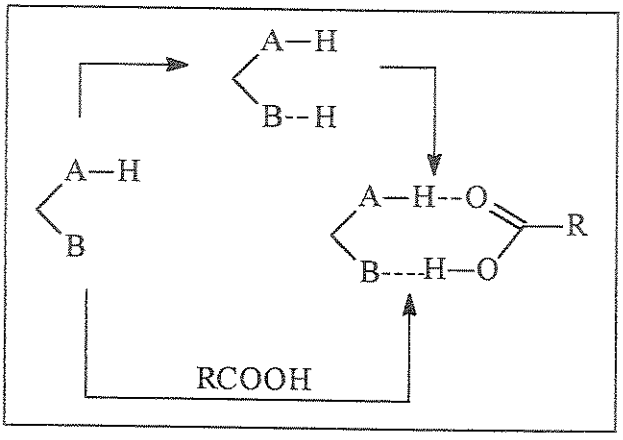
O sabor azedo é devido, principalmente, aos ácidos orgânicos e inorgânicos, já o sabor salgado é devido a alguns sais, especialmente, o cloreto de sódio. Os sais que evocam o sabor salgado interagem com o receptor através de interações eletrostáticas. Já as substâncias que provocam o sabor azedo, tais como os ácidos ilustrados na figura **13**, possuem um grupo ***A—H*** e um grupo ***B*** que interagem com o receptor sensível ao sabor azedo, também através de ligações de hidrogênio.[11]

Figura 13- Estruturas dos ácidos orgânicos responsáveis pelo sabor azedo.



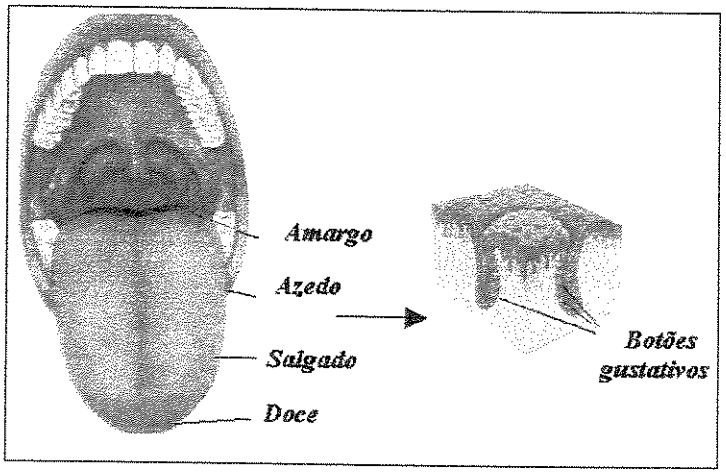
Estes ácidos orgânicos podem ser representados por *RCOOH*. Todos possuem o oxigênio da carbonila, que corresponde ao grupo ***B*** que interage com o grupo ***A—H*** do receptor sensível ao sabor azedo. Além disso, também possuem o grupo hidroxila, que corresponde ao grupo ***A—H*** que, por sua vez, interage com o grupo ***B*** do receptor sensível ao sabor azedo. Estas interações estimulam o receptor, o que causa o envio de uma mensagem ao encéfalo, conforme esquematizado na figura **14**.[11,12]

Figura 14- Esquema que ilustra a interação dos grupos ***AH*** e ***B*** dos receptores com os grupos ***O—H*** e ***O*** de um ácido orgânico.



Os receptores sensíveis ao sabor azedo e salgado, bem como os sensíveis aos sabores amargo e doce, estão espalhados por toda a boca, principalmente na língua, onde existem células gustativas que os identificam e são elas as responsáveis por enviar as informações para o encéfalo. Estas células são denominadas de papilas e possuem botões gustativos, conforme ilustrado na figura **15**. Nesses botões gustativos é que estão localizados os receptores, que se comunicam com terminais nervosos especializados que enviam o sinal ao sistema nervoso central.[1-7]

Figura 15- Ilustração da língua e dos botões gustativos.



Como qualquer outra sensação o sabor só existe no cérebro! Por isto, pode existir uma memória para o sabor, assim como ele pode ser relacionado com outras sensações, tais como as visuais, as de temperatura, as emoções e as olfativas!

Mas, além do sabor, existem outras moléculas nos alimentos que fazem com que eles tenham características singulares. Quais são estas moléculas? Que sensações que causam? Quais são suas propriedades? Discutiremos estas e outras questões no próximo capítulo *"Sensações de Odor e Aroma"*.

• Considerações finais

Neste capítulo ilustramos as moléculas que causam as sensações de sabor. Discutimos que para estas moléculas evocarem um determinado sabor elas devem possuir determinados grupos que fazem ligações de hidrogênio com os receptores presentes na língua. Além disso, devem ter grupos em determinadas posições definidas. Assim, moléculas estruturalmente diferentes, mas que possuem grupos capazes de interagir com um mesmo receptor, podem causar o mesmo sabor.

Podemos observar que o conceito químico que norteia o texto é a ligação de hidrogênio, por isto o texto apresentado neste capítulo pode ser utilizado em disciplinas de química geral e orgânica do ensino superior de química, bem como no ensino médio.

A teoria que explica os diferentes tipos de sabor começou a ser estabelecida em 1967 por Shallenberger e Acree, no entanto, os detalhes desta teoria ainda não são compreendidos totalmente até hoje. Muitos outros pesquisadores complementaram a teoria, mas, mesmo assim, ainda existem muitas controvérsias na literatura, inclusive as explicações para os sabores salgado e azedo são muito confusas, por isto, optamos por omiti-las, somente mencionando estes sabores, sem fornecer muitos detalhes.[11]

CAPÍTULO 6

"Sensações de odor e de aroma"

No capítulo anterior *"Sensações de Sabor"* discutimos que existem quatro sabores básicos: ácido, azedo, salgado e doce. Mas, todos nós sabemos que um chocolate é diferente de um doce de leite, que, por sua vez é diferente de uma bala de menta. No entanto, estes três tipos de alimentos possuem o sabor doce! Mas, causam sensações diferentes, o que será que confere a eles esta propriedade?

Estas características são devidas às diversas substâncias que causam aromas. Existem aromas naturais, aqueles presentes nas frutas, legumes e carnes; por outro lado, também existem os artificiais, aqueles que foram desenvolvidos pelo homem, que conferem o gosto característico aos alimentos industrializados.[1-3]

Com o aumento da industrialização, com o aparecimento de novas técnicas ligadas ao desenvolvimento e controle de qualidade dos alimentos, começou a se tornar interessante a pesquisa sobre os compostos relacionados com a sensação de aroma. Estes compostos passaram a ser sintetizados, a partir do conhecimento das fórmulas de compostos ativos dos aromas naturais. No entanto, os aromas artificiais são, normalmente, mais baratos que os naturais, têm uniformidade na qualidade e garantia de suprimento.[1-4]

As substâncias que causam e intensificam o aroma dos alimentos são chamadas de aromatizantes**. Muitas delas são também utilizadas como agentes de conservação de alimentos e algumas possuem propriedades medicinais, o que as tornam ainda mais atrativas.[1-5]

Existem milhares de compostos que possuem estas características, já que existem milhares de alimentos, com os aromas mais diversos possíveis. Por isto, é difícil falar sobre todos eles, além disso, muitos, senão, a grande maioria dos alimentos, possui muito mais de uma substância para causar uma sensação característica.

Além disso, são vários os fatores que alteram o aroma que um alimento provoca, por exemplo, o tempo e o modo de conservação, a natureza dos ingredientes, o modo como

---

** Os flavorizantes conferem e intensificam a sensação de sabor que os alimentos provocam, sendo o princípio ativo aromático. Como esta diferença é muito sutil, neste texto, não será feita uma distinção entre estas terminologias.

ele é preparado, dentre outros. Estas variações e o grande número de compostos responsáveis por evocar o aroma dos alimentos faz com que seja difícil, senão, impossível de classificá-los, ou seja, de relacionar a estrutura desses compostos com a sensação provocada.[1-5]

O aroma, na realidade é uma mistura de duas sensações, a sensação de sabor e a de odor. Uma prova de que odores e aromas estão altamente relacionados é que muitas vezes, ao pegarmos um resfriado severo, não percebemos o "gosto" dos alimentos. No entanto, ao se testar as sensações de sabor, observa-se que elas estão perfeitamente normais, o que indica que o que chamamos de gosto, não se deve ao sabor, mas ao odor.[6,7]

Também existem milhares de moléculas que causam a sensação de odor. Estas moléculas são chamadas de fragrâncias, quando causam um odor agradável, e por isto, podem ser utilizadas em cosméticos, perfumes e alimentos. No entanto, não existem somente odores agradáveis, mas também existem aqueles insuportáveis! Como ninguém ousaria utilizar uma substância que causa este tipo de odor em um cosmético ou em um alimento, eles não têm muita aplicação industrial. Por isto, ao invés de falarmos em fragrâncias, mas sim em substâncias odoríferas ou simplesmente odorantes.

O odor é tão importante, que o que seríamos de nós, se não sentíssemos cheiro de algo que está queimando, quando estamos preparando algum alimento, ou quando tem algum incêndio por perto. Além disso, ele está intimamente ligado com a comunicação química entre as espécies e com a atração sexual, apesar de que nós, já mascaramos nossos odores naturais, com tantos cosméticos que utilizamos.

O ser humano não possui um olfato muito bom, quando comparado a outros animais como os cães, que são ótimos farejadores, ou com os urubus que sentem o cheiro de carne a quilômetros de distância, ou com alguns insetos que se comunicam quimicamente através de feromônios, que somente os insetos da mesma espécie conseguem perceber. Mesmo assim, a sensibilidade do olfato humano é incrível! Existem algumas pessoas que são especializadas em detectar tanto odores, quanto aromas, mas para isto, é necessário muito treinamento. Milhares de moléculas podem ser distinguidas, mesmo em concentrações muito baixas. Os provadores de vinho e os perfumistas são um exemplo de especialistas em detectar aromas e odores, respectivamente. Estes profissionais têm uma memória altamente desenvolvida para detectar estas sensações.[6-10]

Por isto, é interessante entendermos a sensação de odor e as substâncias que estão relacionadas com esta sensação. Para que uma molécula provoque um determinado odor ou um determinado aroma, ela deve estimular os quimiorreceptores presentes no nariz. Existem cerca de 50 milhões de quimiorreceptores no epitélio olfativo, sendo que estes são neurônios verdadeiros que estão continuamente sendo repostos. Estes neurônios estão estreitamente ligados aos centros de processamento das emoções, o que pode justificar o poderoso e, às vezes, inconsciente impacto do odor.[6,7]

Mas, o que será que uma molécula precisa ter para causar a sensação de odor? Quais são estas moléculas? Quais são suas propriedades? Como elas estimulam os quimiorreceptores presentes no nariz? Estas e outras questões serão melhores discutidas na próxima parte do texto.

- **O que uma molécula precisa ter para causar as sensações de odor e aroma**

Os quimiorreceptores, que são estimulados tanto por aromatizantes, quanto por odorantes, estão localizados numa parte do nariz chamado de epitélio olfativo.[7] Como estas moléculas conseguem chegar até estes receptores?

Na realidade, para que estes receptores sejam estimulados, é necessário que estas moléculas sejam voláteis, pois de outra forma, nunca conseguiriam alcançar o nariz; mas isto não é suficiente, além disso, é necessário que elas sejam solúveis no muco que reveste a região olfativa do nariz. Portanto, estas moléculas devem ter, pelo menos, uma pequena solubilidade em água, pois o muco é uma solução aquosa de proteínas e carboidratos. Entretanto, essa é uma condição menos precisa, porque as moléculas do muco poderiam atuar como detergentes e carregar moléculas insolúveis através da água até os sítios receptores. Também, é necessário que estas moléculas tenham uma parte lipossolúvel, já que os quimiorreceptores possuem estas características.[7]

Porém, nem todas as substâncias voláteis e solúveis no muco são capazes de desencadear a sensação de odor. Para explicar por que determinadas substâncias provocam esta sensação foram elaboradas diversas teorias. Dentre elas, a mais conhecida, é a teoria estereoquímica desenvolvida por Amoore. Ele classificou todos os odores em apenas sete

categorias: canfórico, almiscarado, floral, de hortelã, etérico, penetrante e pútrido. Verificou, também, que uma grande parte das substâncias percebidas como pertencentes a uma destas sete categorias possuía forma e tamanho molecular semelhante. Este fato levou-o a estabelecer uma relação hipotética entre a forma e o tamanho da molécula de uma substância química e o seu cheiro.[6]

No entanto, esta teoria não é completamente satisfatória, já que muitas moléculas não se encaixam nesta padronização, portanto, a relação entre a estrutura molecular e a sensação que ela provoca permanece obscura. A dificuldade em testar e aprofundar essa idéia é que existem muitos odores diferentes, portanto, devem existir muitas proteínas diferentes localizadas nos receptores com as quais estas moléculas interagem. Já foram identificados cerca de trinta diferentes tipos de anosmias, ou melhor, insensibilidade olfativa parcial, o que sugere que há pelo menos trinta tipos diferentes de proteínas localizadas nos quimiorreceptores olfativos, portanto, esta teoria, também estaria incompleta.[6,7]

Além disso, assim como na sensação de sabor, acredita-se que apenas uma parte da molécula precisa interagir com um sítio da proteína que forma o receptor e estimulá-lo; por outro lado, se a molécula for flexível, ela pode encaixar-se em mais de um sítio, provocando assim uma resposta mista. Por isto, os odores não são muito específicos.[6-10]

Tudo isto faz com que o olfato seja o sentido menos conhecido, além de ser o mais subjetivo. Ainda não sabemos o que é quimicamente necessário para estimular as células olfativas. Porém, sabemos que as substâncias que causam esta sensação precisam ser voláteis e também devem ter em sua estrutura uma parte hidrossolúvel, para poder se dissolver no muco e ir até os quimiorreceptores e uma parte lipossolúvel, porque os quimiorreceptores são compostos, principalmente, por lipídicos.[6-10]

O que é volatilidade? Quais são os compostos voláteis? Os compostos que são muito voláteis estão no estado líquido e, as moléculas que o formam estão unidas por interações intermoleculares fracas. Por outro lado, quando as interações intermoleculares são fortes, o composto é pouco volátil. Por isto, os líquidos que possuem moléculas que são capazes de formar ligações de hidrogênio são menos voláteis, por exemplo, que outros, cujas interações dominantes são do tipo dipolo-dipolo.[11]

Por exemplo, comparando-se o dimetil éter e o etanol, observamos que estes compostos são isômeros. Poderíamos esperar que as interações que ocorrem entre suas moléculas fossem semelhantes, e conseqüentemente, teriam propriedades semelhantes, tais como pontos de fusão, ebulição e pressões de vapor. Porém, não é isto que ocorre, pois o etanol tem um grupo *–OH* e, portanto, pode formar ligações de hidrogênio com outras moléculas de etanol. Por outro lado, as moléculas de dimetil éter não podem formar ligações de hidrogênio umas com outras, pois todos seus átomos de hidrogênio estão ligados a átomos de carbono. Conseqüentemente, apesar de terem o mesmo número de átomos, estes compostos apresentam propriedades físicas diferentes, já que o etanol é líquido à temperatura ambiente, enquanto que dimetil éter é um gás. Estes dois compostos também têm pressões de vapor diferentes.[11,12]

Portanto, a pressão de vapor de um líquido a uma dada temperatura pode ser esperada sendo baixa se as forças que atuam entre suas moléculas forem fortes. Os líquidos que possuem pressões de vapor altas em temperaturas ambientes são ditos voláteis. Por outro lado, os sólidos também possuem uma pressão de vapor, mas ela é, normalmente, muito mais baixa que a dos líquidos. Isto ocorre porque as moléculas que formam um sólido estão mais conectadas, presas a estrutura cristalina, do que as que formam um líquido.[11,12]

No entanto, existem sólidos que vaporizam rapidamente em um processo chamado de sublimação. Dentre eles podemos citar o mentol, a cânfora e a naftalina. Estes sólidos possuem uma pressão de vapor mais alta do que outros sólidos que não sublimam facilmente.[11-13]

Para entendermos melhor a volatilidade e a pressão de vapor, vamos supor que um líquido é colocado num recipiente fechado. O vapor se formará à medida que as moléculas deixam a superfície do líquido, sendo que a maior parte das moléculas que se evaporará são as da superfície, porque estas estarão ligadas menos fortemente e podem escapar mais facilmente que as do interior do líquido. A medida que o número de moléculas que está no de vapor aumenta, elas poderão se chocar com a superfície do líquido e assim aderirem a ele, e se tornarem parte do líquido novamente. Desta forma, após um curto período, o número de moléculas que voltam ao líquido se iguala ao número que escapa dele, assim, o líquido e o vapor estão em equilíbrio dinâmico. A pressão de vapor, então, é a pressão

exercida pelas moléculas que estão no estado gasoso, quando há equilíbrio dinâmico entre os estados gasoso e líquido (ou sólido).[11-13]

Portanto, quanto maior a pressão de vapor, maior a tendência das moléculas escaparem de um líquido, por isto, conclui-se que as interações que mantém unidas as suas moléculas são fracas e, conseqüentemente, ele é volátil. Quando aquecemos um líquido, que possui alta pressão de vapor, por exemplo, uma maior energia estará disponível para que as moléculas se desprendam dele, desta forma, podemos esperar que a pressão de vapor aumente com o aumento da temperatura. É, por isto, que muitas comidas começam a "cheirar", quando aquecidas, porque muito mais moléculas estão passando para o estado gasoso e poderão ser captadas pelos nossos quimiorreceptores olfativos.[11-13]

Quais são as moléculas que causam a sensação de odor e de aroma? Como elas podem ser obtidas? Como podemos classificá-las? Na próxima parte do texto discutiremos melhor estas questões.

- **Moléculas, odores e aromas**

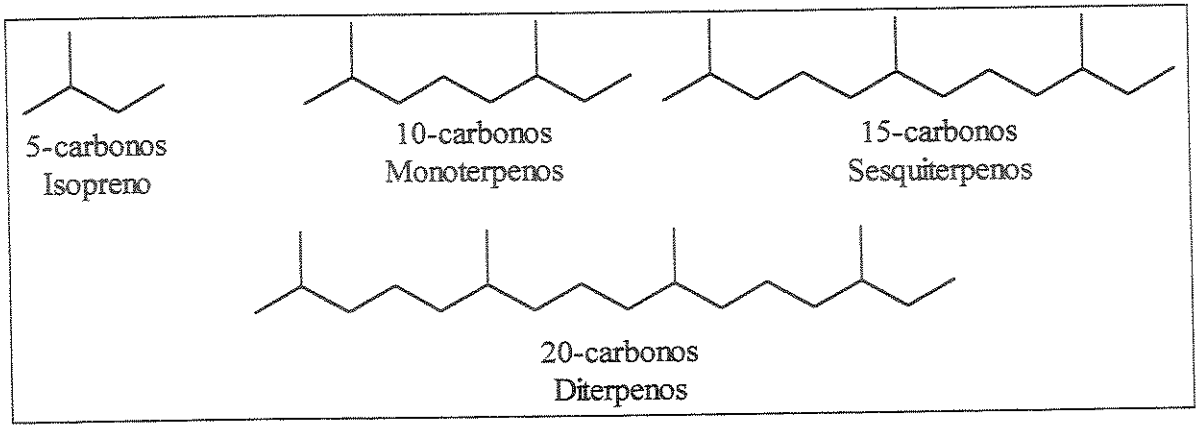
Geralmente, para obtermos moléculas que são utilizadas como fragrâncias, extraímos das flores, folhas, caules, cascas, raízes ou sementes das plantas seu óleo essencial, que é o material volátil que pode ser isolado de uma única espécie de planta. Para se ter uma idéia, já foram identificados cerca de 3 mil óleos essenciais e várias centenas deles estão disponíveis comercialmente. Além disso, um só óleo essencial pode conter centenas de tipos diferentes de moléculas, e a percepção de odor que ele causa pode ser mudada mesmo removendo-se algumas moléculas presentes em concentrações muito baixas.[1,3,14-16]

Os chamados óleos essenciais são usados, principalmente, em formulações de perfumes, mas também servem para aromatizar alimentos. Como possuem muitas moléculas em diferentes concentrações, é difícil imitá-los com precisão. No entanto, a maior parte das moléculas que os constituem fazem parte da classe de compostos orgânicos chamados de terpenos, que possuem o isopreno como unidade básica. Algumas outras moléculas formadas por oito unidades de isopreno, presentes em vários vegetais, possuem

intensa deslocalização eletrônica, tais como os carotenóides: α e β-caroteno, o licopeno, a bixina, dentre outros, que causam a sensação de cor dos vegetais.[1,3,14-16]

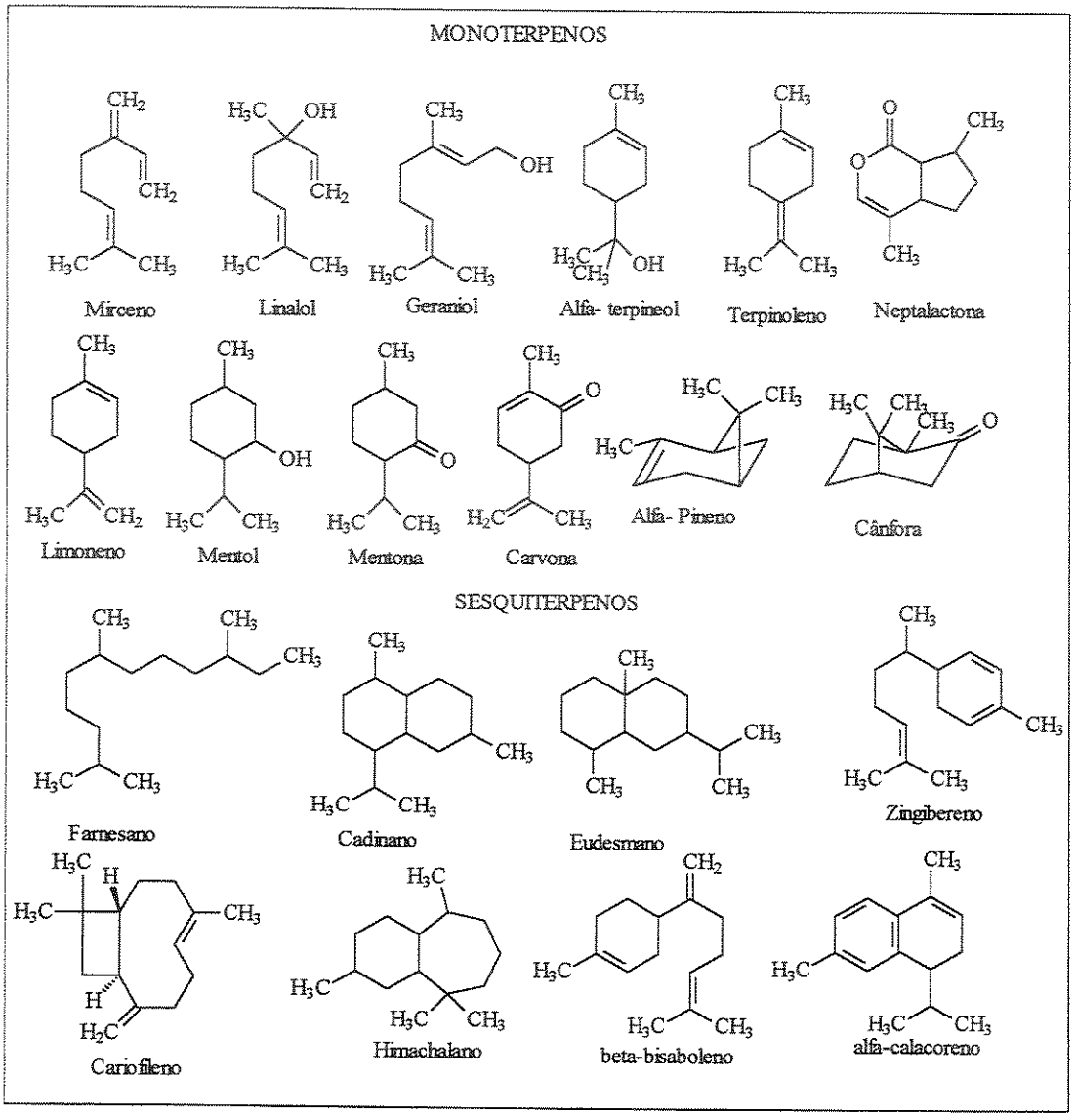
O isopreno possui 5 átomos de carbono e pode gerar vários derivados, tais como os monoterpenos que possuem 10 átomos de carbono, os sesquiterpenos que possuem 15 ou os diterpenos que possuem 20, tal como ilustrado na figura **1**.[17]

Figura 1 – Diferentes classes de terpenos.



A maioria dos terpenos que fazem parte dos óleos essências pertence à classe dos monoterpenos ou sesquiterpenos, conforme ilustrado na figura **2**. Além disso, muitos destes compostos que causam sensações de odor não estão somente na forma de hidrocarbonetos, o que os tornariam insolúveis em água, mas possuem grupos funcionais como álcool, aldeído, cetona, éter, estes, óxido, ácido carboxílico, dentre outros, formando assim uma vasta classe de compostos, que também podem estar na forma aciclíca, monocíclica e bicíclica.[1,3,17]

Figura 2 – Principais monoterpenos e sesquiterpenos.



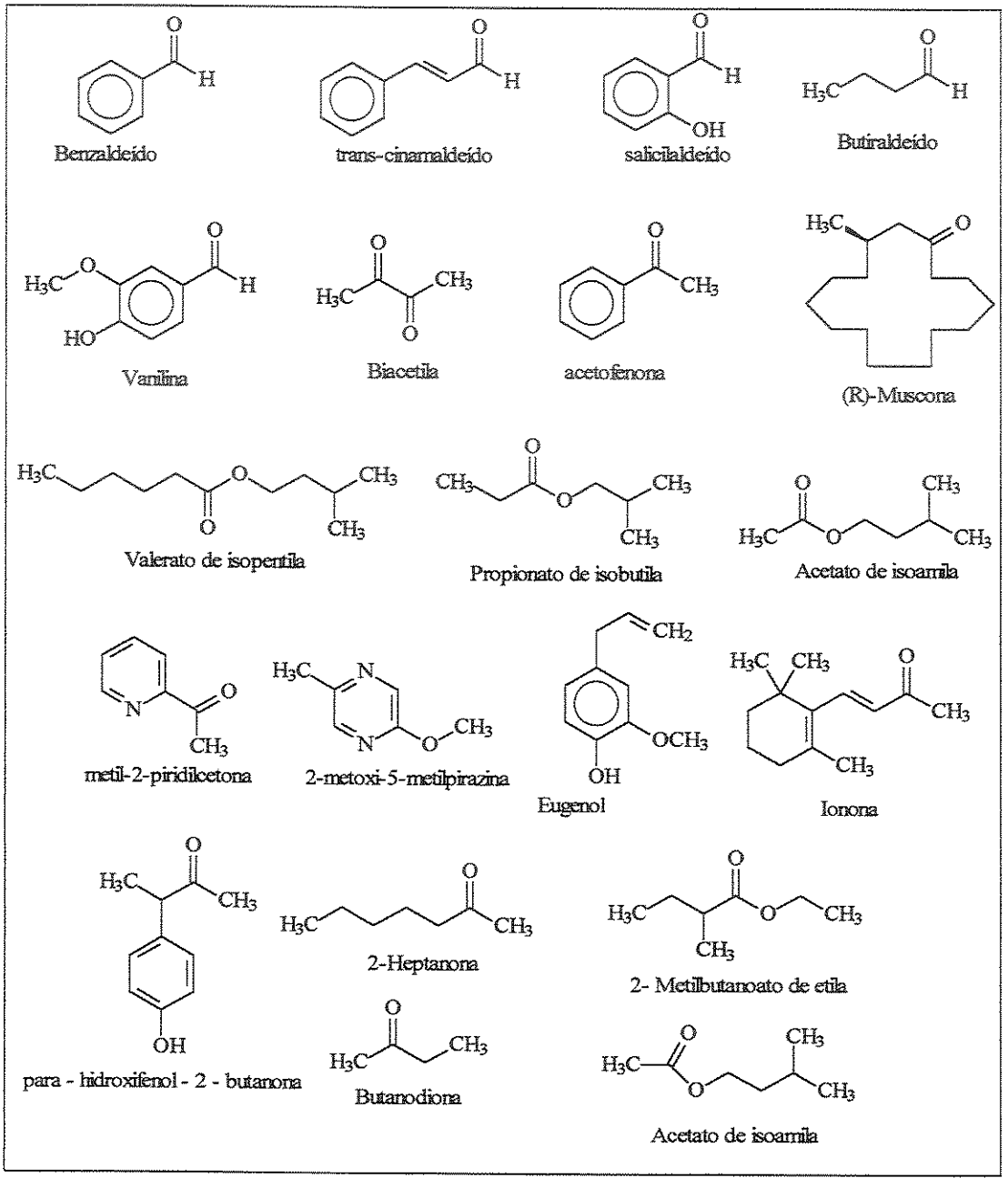
Muitos destes compostos estão presentes em concentrações relativamente altas em alguns óleos essenciais característicos, outros estão presentes em quantidades muito pequenas, mas são importantes para determinar um odor ou um aroma característico. Outros compostos que não pertencem a classe dos terpenos também são encontrados em óleos essenciais. Além disso, também existem compostos sintéticos que são utilizados como aromatizantes ou como fragrâncias. Na tabela **1**, encontramos alguns destes compostos e suas principais fontes.[1-3, 14-22]

Tabela 1- Dados sobre alguns compostos encontrados em óleos essenciais e suas fontes.

Composto	*Fonte*
α-pineno	Óleo de terebintina (espécies de coníferas e pinheiros).
α-terpineol	Óleo de pinho.
Limoneno	Óleo de limão e de laranja.
Carvona	Óleo de hortelã (*Mentha viridis*).
2-Heptanona	Cravos, frutas e lacticínios (queijo roquefort).
Cinamaldeído	Óleo de canela.
Benzaldeído	Amêndoas amargas, cerejas e pêssegos.
Eugenol	Óleo de louro e cravo.
Vanilina	Essência de baunilha.
Acetato de isoamila e 2-metilbutanoato de etila	Aroma e odor característico de maça madura.
Butanodiona	Odores da manteiga, do creme de leite e do queijo fresco.
p – Hidroxifenol – 2 – butanona	Aroma de framboesas maduras.
Ionona	Óleo de violetas obtida das flores de variedades azul e púrpura.
Metil- 2- piridilcetona	Pipoca.
2-metoxi-5-metilpirazina	Amendoim, casca de pão, rum, uísque, chocolate e de alguns vegetais crus, inclusive as pimentas.
2-furilmetanotiol	Café.
2,6-dimetilpirazina	Chocolate.
Acetato de isoamila	Banana.
Salicilaldeído	Amêndoas.
Butiraldeído	Manteiga.
Acetofenona	Pistache.
Muscona	Almíscar.
Valerato de isopentila	Maça.
Proprionato de isobutila	Rum.

Na figura **3** encontramos as estruturas dos compostos mencionados na tabela **1**.

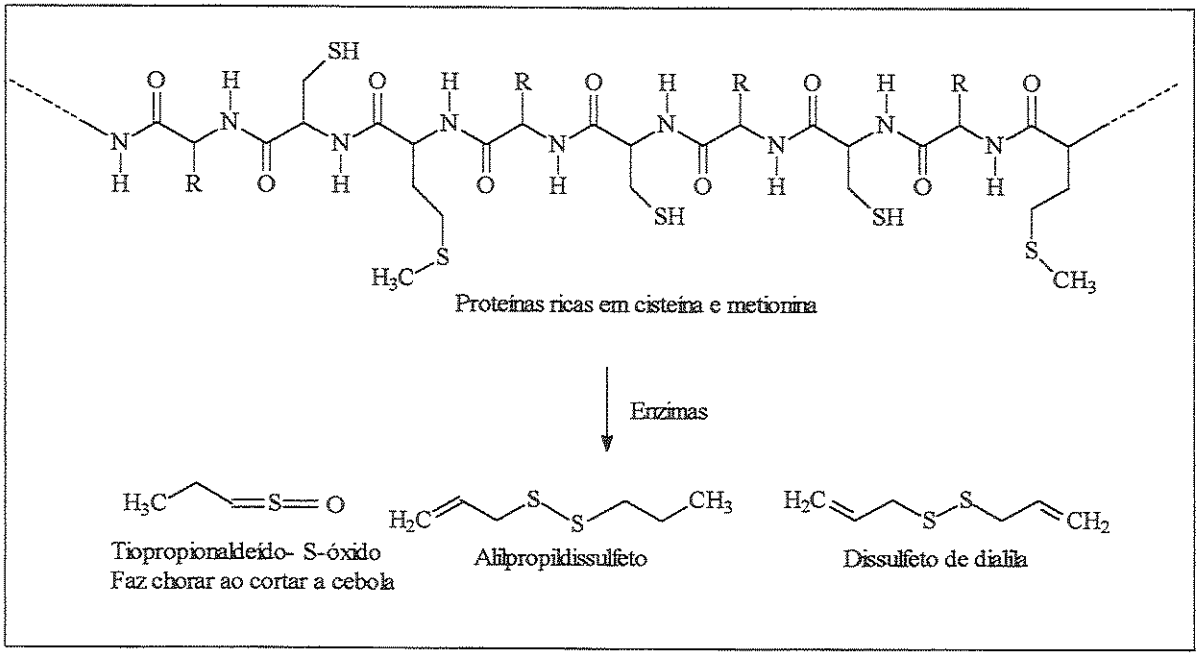
Figura 3 – Estruturas de alguns compostos que causam sensações de odor e aroma.



Muitos compostos orgânicos de outras classes, também estimulam os quimiorreceptores e evocam algum aroma ou sabor. Por exemplo, os compostos de enxofre são responsáveis pelo odor característico de membros do gênero *Allium*, como o alho e a

cebola. Essas plantas contêm proteínas com aminoácidos ricos em cisteína e metionina, que possui enxofre nas cadeias laterais. O alho e a cebola são inodoros até serem cortados ou esmagados; quando isto acontece, algumas enzimas convertem estes aminoácidos em compostos voláteis, como os dissulfetos, nos quais dois átomos de enxofre formam uma ponte entre dois fragmentos de hidrocarbonetos. O dissulfeto de dialila é responsável pelo cheiro de alho e o alilpropildissulfeto, da cebola. Além disso, a ação das enzimas sobre estes aminoácidos, na cebola, resulta também na formação do tiopropionaldeído, que é lacrimogêneo e, portanto, nos faz chorar quando cortamos uma cebola crua. A conversão de uma proteína rica em aminoácidos que contêm enxofre em dissulfetos está ilustrada na figura 4.[3,22]

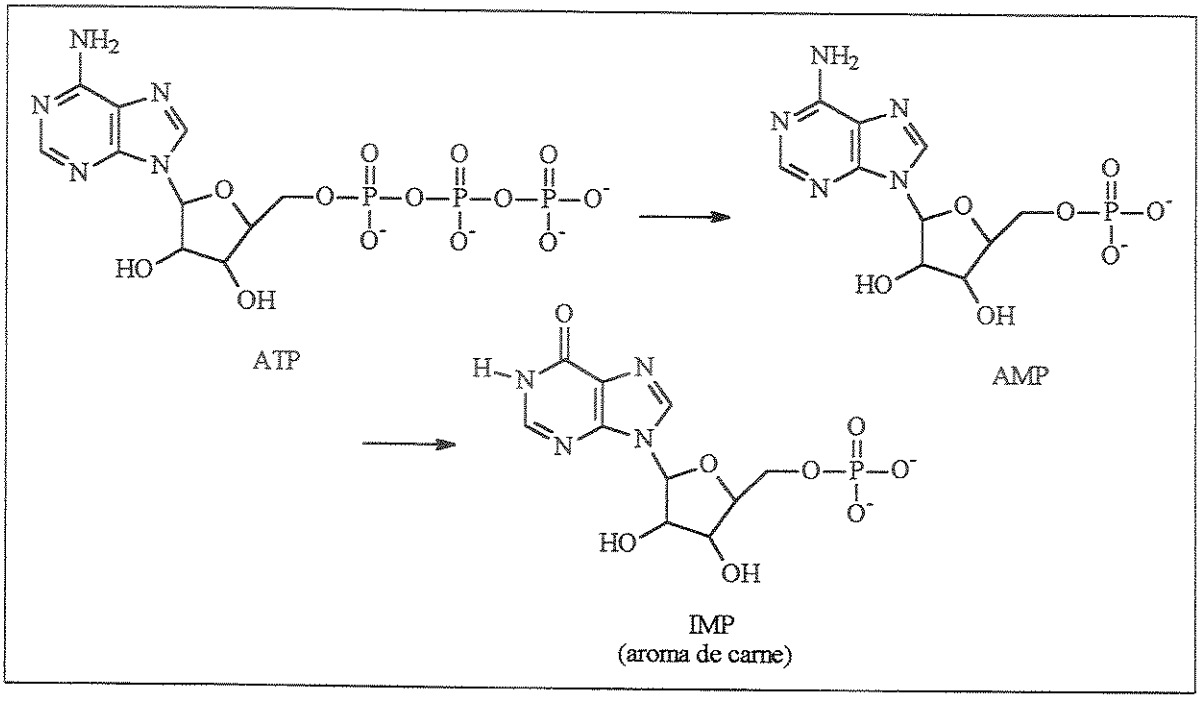
Figura 4 – Ilustração da conversão enzimática de um fragmento de proteína rica em cisteína e metionina em compostos voláteis responsáveis pelos odores e aromas de alho e cebola.



Outros aromas são muito comuns em nosso dia-a-dia, tal como o de carne, que se deve, principalmente, a um derivado do ATP o IMP, ou monofosfato de inosina (IMP). Depois da morte do animal, o ATP não é mais produzido nos músculos, e ele é

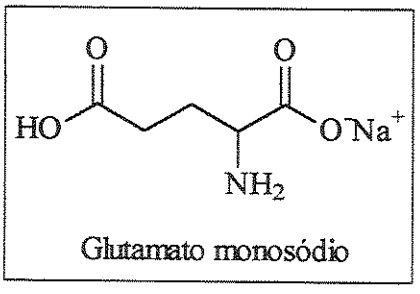
decomposto, perdendo inicialmente os grupos fosfatos da cadeia terminal, formando o AMP, que se transforma em IMP, conforme ilustrado na figura **5**.[22]

Figura 5 – Ilustração da conversão do ATP em IMP.



Além do IMP, o glutamato monosódio, cuja estrutura está ilustrada na figura **6**, é outro composto que causa um aroma de carne. Inclusive, ele causa uma sensação de sabor característica e única, por isto, acredita-se que ele estimule um receptor da língua, e, por isto, causaria um sabor diferente denominado de umani.[7,22]

Figura 6 – Estrutura do glutamato monosódio.



Os diferentes tipos de carne contêm diferentes quantidades de IMP e de glutamato monosódio, e os seus sabores mudam de acordo com essas proporções, por exemplo, a quantidade de glutamato presente na carne de vaca é o dobro da presente na carne de porco, no entanto, a de IMP é aproximadamente a mesma. Além disso, alguns cogumelos são ricos em proteínas que contém o ácido glutâmico, por isto, seus aromas lembram o de carne.[3,22]

Muitas pessoas não gostam dos aromas de alho, cebola e de carne. Isto porque as sensações de odor e aroma são únicas e cada pessoa tem uma preferência característica. No entanto, todos nós sabemos que existem odores que não são nem um pouco agradáveis. Por exemplo, nós mesmos expelimos pela pele e por diversos orifícios alguns destes odores. Na realidade, nós expelimos muitos compostos e o isopreno é um dos mais abundantes. Porém, o isopreno não tem um odor desagradável. O que, então, causa o odor desagradável das flatulências, do "chulé" e do mau hálito?

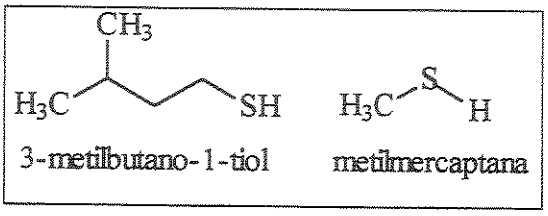
As flatulências possuem gases como o nitrogênio, dióxido de carbono, metano e hidrogênio molecular. No entanto, estes gases não têm cheiros. Então, o que as fazem ser tão mal cheirosas? As proteínas que compõem os alimentos que ingerimos possuem átomos de nitrogênio e muitas delas também possuem átomos de enxofre. As bactérias presentes em nossos intestinos atacam os aminoácidos dessas proteínas, formando traços do gás amônia e do sulfeto de hidrogênio, que causam o odor desagradável das flatulências.[22,23]

A molécula de sulfeto de hidrogênio é um análogo sulfurado da água, que possui um átomo central de enxofre no lugar do átomo central de oxigênio. Mas, como o enxofre é menos eletronegativo que o oxigênio, não faz ligações de hidrogênio, e, por isto, o sulfeto de hidrogênio é gasoso a temperatura ambiente. Mas, o porquê do sulfeto de hidrogênio e muitos compostos voláteis que contém enxofre serem tão mal cheirosos é mais difícil de explicar.[22,23]

Outro composto derivado de enxofre que possui um odor extremamente desagradável é a metilmercaptana, que nós exalamos após comer alho e é, por isto, que este alimento é conhecido por causar mau hálito. Além disso, o mau hálito também é causado pelo sulfeto de hidrogênio e sulfeto de dimetila. Nossos pés também podem conter micróbios que liberam metilmercaptana, causando assim o odor inaceitável do "chulé". O gambá, por exemplo, é um animal famoso, por emitir um odor indesejável de sua urina, que

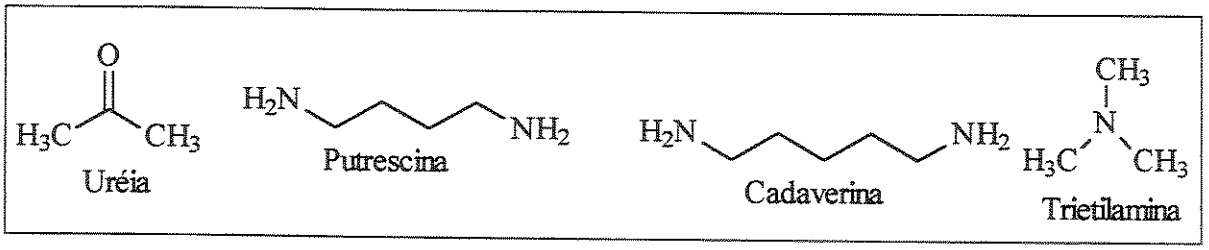
também contém uma mercaptana, a 3-metilbutano-1-tiol. As estruturas destes compostos estão ilustradas na figura 7.[22,23]

Figura 7 – Estruturas da metilmercaptana e da 3-metilbutano-1-tiol.



Alguns compostos nitrogenados também causam odores desagradáveis, como a amônia, a uréia, que é o principal componente orgânico da urina humana; a putrescina e cadaverina, que têm odores de carne apodrecida; e a trietilamina que tem cheiro de peixe estragado. As estruturas destes compostos estão ilustradas na figura 8.[22]

Figura 8 – Estruturas da uréia, da putrescina, da cadaverina e da trietilamina.

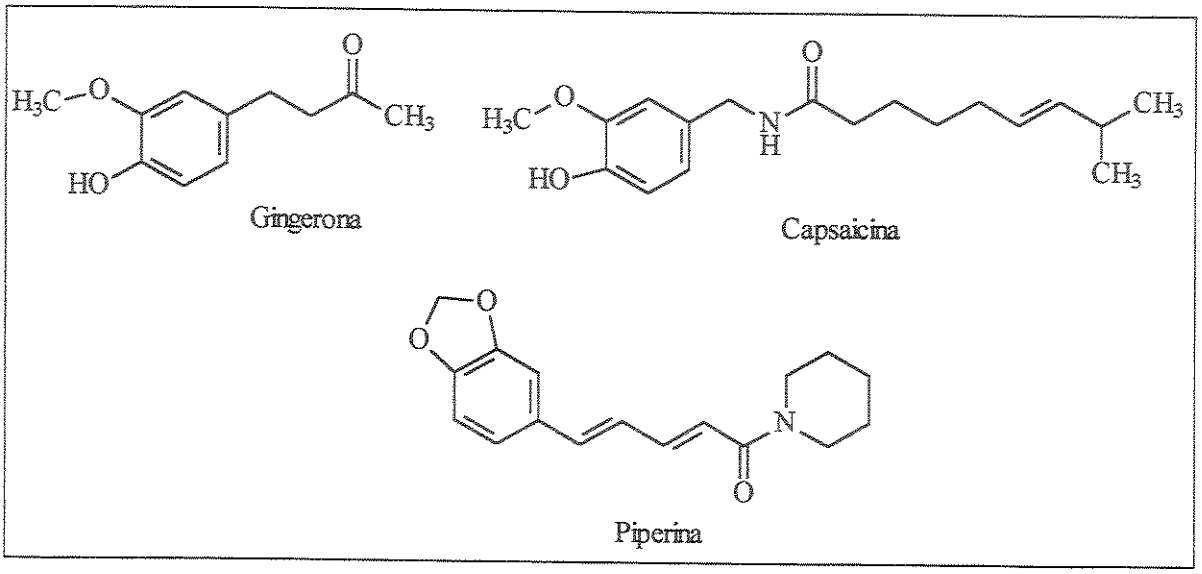


Além das diversas sensações de odor e aroma que existem, os alimentos ainda podem estimular outros receptores presentes na língua, provocando outras sensações como a de dor, de frio ou de calor.

A piperina, por exemplo, que está presente na pimenta do reino é um alcalóide que estimula os receptores da língua sensíveis a dor. As pimentas vermelhas e verdes, por sua vez, contêm a capsaicina, que também estimula estes receptores. A gingerona também causa a sensação de dor ou ardência quando ingerida, ela é o componente do gengibre e sua

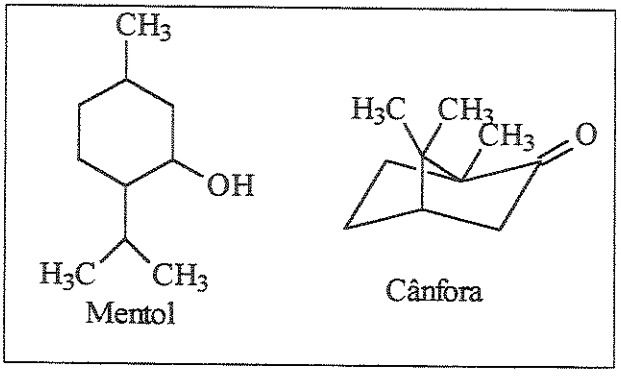
estrutura é similar à da capsaicina*, diferindo, principalmente, pela cadeia lateral. As estruturas dos compostos mencionados são mostradas na figura **9**.[3,7,22]

Figura 9- Estruturas da piperina, da capsaicina e da gingerona.



O mentol e a cânfora, cujas estruturas estão ilustradas na figura **10**, por outro lado, causam a sensação de frio; é por isto, que estes compostos são utilizados em diversos produtos industrializados para causar a sensação de frescor.[1,3,22]

Figura 10 – Estruturas do mentol e da cânfora.



* Ver *"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"*, página 208.

No entanto, estes compostos são exceções, já que a maioria dos compostos que mencionamos estimula os quimiorreceptores olfativos. Estes receptores se comunicam com o cérebro, onde a sensação de odor é interpretada e é transformada em percepção. Como ainda não sabemos qual é a relação entre as diversas substâncias e o odor que elas evocam, ainda não se conhece, com precisão, quais são estes receptores, o que eles fazem e quantos tipos existem. Além disso, não se sabe o que distingue os odores uns dos outros, já que existem poucas evidências entre as estruturas dos compostos e suas interações com os receptores.

• Considerações finais

Neste capítulo discutimos as sensações de odor e aroma, mas, infelizmente, não se conhece muito sobre estas sensações. Sabe-se, simplesmente, que existem milhares de compostos que as causam e que elas são muito diversas. Estes compostos possuem em comum a propriedade de serem voláteis, mas isto não é suficiente para causá-las.

Este texto pode ser utilizado para complementar o texto *"Sensações de Sabor"* em aulas de química geral, físico-química tanto no nível superior quando no ensino médio. Além disso, ele estabelece a interdisciplinaridade entre conceitos de química como o de solubilidade e de pressão de vapor com os de alimentos e biologia, ilustrando aplicações do cotidiano.

CAPÍTULO 7

"Neuroquímica e Sensações"

Não existe nenhuma concepção na mente do homem que não tenha sido antes, totalmente ou em partes, gerada nos órgãos dos sentidos.
Thomas Hobbes (1588-1679)[1]

O que prova a realidade do mundo material além da percepção que nosso cérebro tem dele? Principalmente, a coerência de nossas percepções, e sua permanência. De maneira mais precisa, a coerência do tato e da visão para um só mesmo indivíduo.
Jean-Pierre Changeux e **Alain Connes**[2]

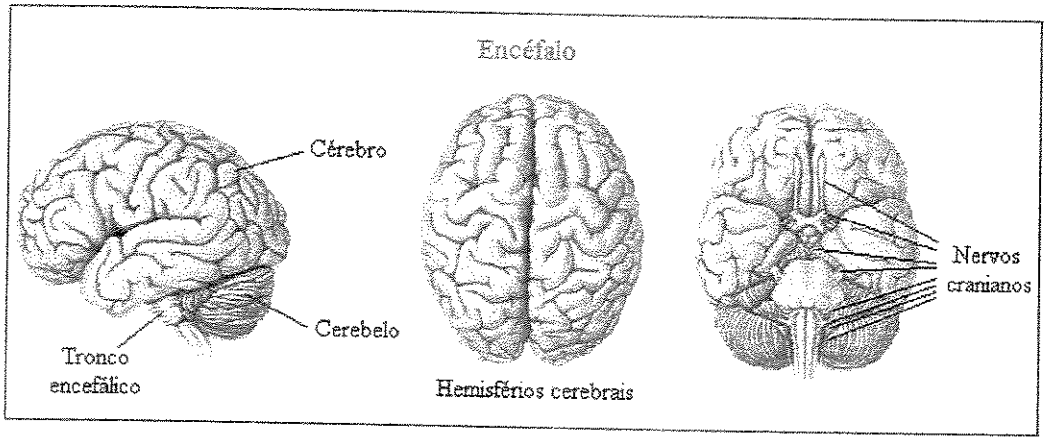
O que é real? O que é normal? A realidade é a mesma para todos? Por que a maioria das pessoas tem uma interpretação parecida para o mundo material? O cérebro de todas as pessoas funciona da mesma maneira? Como funciona o cérebro humano? Como ele interpreta as sensações? Como são formadas as percepções? Como ele comanda todas as funções do organismo? Como funcionam os sistemas de memória, consciência e pensamento? Estas e outras questões instigam cientistas e filósofos do mundo todo... Muitas delas são difíceis ou até mesmo impossíveis de responder com o que se conhece até agora...

A última década do século XX foi chamada de década do cérebro, pois muitos pesquisadores se organizaram para tentar desvendar seu funcionamento. No entanto, perceberam que uma só década é um período muito curto para tentar desvendar um sistema tão complexo. Talvez não só mais uma década, mas um século todo seja necessário para compreender seu funcionamento, pois ainda estamos longe de compreender, por exemplo, como funciona a consciência. Muitos pesquisadores e filósofos acreditam que jamais compreenderemos totalmente o que faz de cada pessoa ser única ou como funciona a mente.[3]

O cérebro, que é o responsável por reconhecer todas as sensações e formar as percepções, na verdade faz parte de um sistema mais complexo, de onde também fazem parte a medula espinhal, o bulbo, o cerebelo, o tronco encefálico e os nervos cranianos. À todo este conjunto se dá o nome de sistema nervoso central (SNC), que pode ser dividido em encéfalo e em medula espinhal. O encéfalo se localiza no interior do crânio e é

composto pelo cérebro, cerebelo, tronco encefálico, bulbo e por alguns dos nervos cranianos, conforme a ilustração da figura 1.[4-11]

Figura 1- Ilustração das partes do encéfalo.



Para se ter uma idéia, este sistema é o responsável por decodificar não só tudo o que sentimos, mas também tudo o que pensamos, todos os nossos movimentos, comportamentos, bem como tudo o que ocorre no organismo. Sabe-se isto desde a antiguidade, pois segundo o filósofo grego Hipócrates (469-379 a.C.), o "pai da medicina":[7]

"O homem deve saber que de nenhum outro lugar, mas do encéfalo, vem a alegria, o prazer, o riso e a diversão, o pensar, o ressentimento, o desânimo e a lamentação. E por isto, de uma maneira especial, adquirimos sabedoria e conhecimento, e enxergamos e ouvimos e sabemos o que é justo e injusto, o que é bom e o que é ruim, o que é doce e o que é amargo... E pelo mesmo órgão tornamo-nos loucos e delirantes, e medos e terrores nos assombram... Todas estas coisas suportamos do encéfalo quando não está sadio... Neste sentido sou da opinião de que o encéfalo exerce o maior poder sobre o homem"

Isto quer dizer que todas as sensações agradáveis como: satisfação, prazer, carinho, amor e saudade, assim como as não tão agradáveis como: dor, decepção, raiva, angústia, depressão, ansiedade, dentre outras, são de responsabilidade dele. Ele também é o responsável pelo controle do sono, fome, sede, impulso sexual, memória, movimentos,

sonhos, inteligência, linguagem e aprendizagem. Todas estas atividades integradas às funções cerebrais dão origem ao que chamamos de mente e ela é individual, característica e única!

O sistema nervoso central é tão importante que quando algo não está funcionando direito, uma pessoa pode ter algum distúrbio como loucura, alucinações, epilepsia, esquizofrenia, depressão, dentre outros. Além disso, qualquer lesão em alguma parte deste sistema pode ser irreversível.

Até a muito pouco tempo atrás, por muitas destas lesões serem ditas "irreversíveis", os cientistas acreditavam que era impossível dos neurônios se regenerarem e que não eram produzidos durante a vida, ou seja, a pessoa já nascia com um número certo de neurônios e só poderia perdê-los, mas nunca recuperá-los. Acreditavam também que o cérebro de um adulto permanecia estável e imutável, com memória e capacidade de processamento fixas.[12,13]

Mas, se os neurônios não tivessem a capacidade de ser produzidos, como seria explicada a existência de câncer no cérebro, já que ele é uma reprodução desenfreada de células? Sabe-se também que os neurônios presentes no nariz, que são utilizados para decodificar a sensação de odor, também são repostos continuamente. Estas evidências ilustram que o neurônio pode ser produzido durante a vida.

Nos últimos anos descobriram que o cérebro realmente muda no decorrer da vida e que esta mudança é positiva, ou seja, descobriram que os neurônios se regeneram e que novos são produzidos. Os novos podem ser utilizados para fornecer uma capacidade extra que precisamos, por exemplo, para lidar com a variedade de desafios que enfrentamos ao longo da vida. Isso é chamado de plasticidade e oferece um mecanismo pelo qual o cérebro pode ser induzido a se auto-recuperar após sofrer lesões ou contrair determinadas doenças. Estas pesquisas também podem ajudar a entender e descobrir a cura (ou pelo menos a minimização dos efeitos) de muitas doenças como a paralisia cerebral, o mal de Parkinson, de Alzheimer, depressão, dentre outras, envolvidas com a perda de neurônios.[12,13]

O termo plasticidade é utilizado para descrever praticamente qualquer alteração cerebral, em nível químico, que leva à formação de novos neurônios (um processo denominado de neurogênese). Por exemplo, a aprendizagem produz um fortalecimento das conexões entre neurônios, mediante a criação de mais conexões entre eles, aumentando

suas capacidades de se comunicar quimicamente, em regiões chamadas de sinapses; então a aprendizagem é um tipo de plasticidade. Para ocorrer aprendizagem há mudanças que interligam os neurônios formando uma cadeia que pode voltar a ser percorrida para evocar um determinado movimento, sensação ou pensamento. O mesmo ocorre para os processos de memória![5-7,12,13]

A partir do momento que entendemos que o cérebro muda para formar os processos de memória e aprendizagem, podemos nos perguntar: o que influencia o funcionamento do cérebro? O cérebro de todos funciona da mesma maneira? Como o cérebro controla o organismo? Será que cada parte do cérebro tem uma função? Será que isto é válido para todos os seres humanos, ou é individual?

O cérebro é dividido em dois hemisférios que estão altamente interligados e conectados. Ao contrário do que se pode imaginar, o hemisfério esquerdo recebe informações e controla movimentos e sensações do lado direito do corpo e o hemisfério direito recebe as informações e controla os movimentos e sensações do lado esquerdo do corpo. Além disso, cada um destes hemisférios possui funções diferentes, sendo que a função verbal, de compreender e expressar-se pela linguagem, é, geralmente, melhor controlada, em pessoas destras, pelo hemisfério esquerdo. Por outro lado, que a função visual e espacial, a de realizar as transformações tridimensionais, reconhecer formas complexas, reconhecer as faces, geralmente, é mais bem regulada pelo lado direito.[14]

Então, podemos nos perguntar como os cérebros dos canhotos funcionam? E das pessoas ambidestras? Existe relação entre a dominância da mão e o funcionamento do cérebro?

Podemos imaginar que na maioria das pessoas o hemisfério esquerdo do cérebro é dominante, pois ele controla os movimentos do lado direito do corpo e grande parte da população mundial é composta por pessoas destras. Em mais de 90% das pessoas, as funções verbais são controladas pelo hemisfério esquerdo e a mão dominante é a direta. O restante utiliza a mão esquerda, ou ambas as mãos, como no caso dos ambidestros.[14]

Pode se verificar que quando uma pessoa destra sofre uma lesão no hemisfério esquerdo, além de perder movimentos do lado direito do corpo também tem distúrbios de linguagem. Pode-se imaginar que, nos canhotos, a especialização dos hemisférios do

cérebro seja invertida, desta forma, o hemisfério direito regula as funções verbais e o esquerdo as funções visual-espaciais.[14]

Alguns neurologistas consideram, porém, que, num grupo de canhotos, as duas funções sejam representadas em ambos os hemisférios cerebrais, assim, cada qual poderia cumprir tanto a função verbal, como a visual espacial. Para estas pessoas haveria um tipo de competição entre estas funções, e, por isto, as capacidades visual-espaciais seriam sacrificadas quando a pessoa começa a ler e escrever. [14]

No entanto como explicar que existem tantos canhotos que são artistas? Por exemplo, você sabia que Michelangelo e Leonardo da Vinci eram canhotos? Como será que o cérebro destes talentosos artistas funcionava?[14]

Pode se verificar que alguns canhotos apresentem o hemisfério esquerdo especializado para a linguagem, como na maior parte dos indivíduos, e o direito especializado nas funções visual-espacial. No entanto, seu hemisfério esquerdo controla diretamente a mão esquerda, este é o caso dos canhotos artistas de quem falamos e de tantos outros.

Como as percepções do mundo são determinadas por fatores sociais, culturais e genéticos, todos estes fatores influenciam o funcionamento do encéfalo de um modo geral. Por isto, uma pessoa pode aprender uma determinada função, como a arte, e modificar o modo de seu cérebro funcionar.

Sabe-se que o encéfalo de um músico funciona diferente do de um cientista, que funciona diferente do de um atleta. Um artista, um cientista ou um atleta podem ter sido influenciados tanto pelo ambiente, sendo educados e estimulados para desenvolver tais habilidades.[14] Por outro lado, existem músicos que nunca estudaram, mas que desenvolvem habilidades similares as de uma pessoa que estudou muito para exercer aquela determinada função. Poderíamos chamar isto de "dom", ou de uma predisposição a executar uma determinada função, que pode ou não ser desenvolvida.

Isto é possível, porque, ao contrário do que se acreditava até poucos anos atrás, o cérebro pode mudar! Ele pode ser remodelado extensivamente no decurso da vida, sem medicamentos, nem cirurgias. Por exemplo, é possível ensinar regiões do cérebro a executar tarefas diferentes se for preciso; como no caso de uma pessoa que sofre uma lesão cerebral em uma parte do cérebro e, que, portanto, não poderia mais executar a função que

aquela região coordena, mas que após um período de exercícios e adaptação volta a exercer a função. Nestes casos, uma outra área do cérebro é utilizada para exercer aquela função. Este tipo de transferência de funções já foi detectado em pacientes que sofreram um derrame, que perderam a fala ou a capacidade motora; pacientes com paralisia cerebral, com distúrbios da leitura, dentre outros.[12,13]

O músico brasileiro Herbert Vianna sofreu um grave acidente, onde teve uma lesão cerebral que atingiu áreas do cérebro responsáveis pela sua fala. Após alguns anos de recuperação, onde realizou uma série de exercícios físicos e mentais recuperou esta atividade e atualmente já está falando e cantando. Isto, só foi possível por que seu cérebro já funcionava de maneira diferente antes do acidente![15]

Esta modificação cerebral também foi observada no ator Cristopher Reeve; atualmente, oito anos após um acidente que o deixou paraplégico, ele, aparentemente, conseguiu recuperar alguns movimentos com exercícios, atingindo um estágio em que é capaz de mover os dedos dos pés e das mãos e movimentar suas pernas. Sua recuperação é o primeiro caso registrado em que se verificou uma extensa conexão entre a medula e o cérebro após um período tão longo.[12,13]

Isto não é só verificado em pessoas que sofreram algum tipo de lesão, mas também ocorre em todos nós! Por exemplo, músicos que tocam instrumentos de cordas possuem a região do córtex que controla a mão que dedilha maior que a região destinada à outra mão. Da mesma forma, cegos que utilizam o braile para ler tem o córtex visual ativado quando seus dedos tocam as letras deste tipo de código, isto se sua cegueira não for de origem cerebral, ou melhor, se os neurônios daquela área não estiverem mortos.[12,13]

Antigamente, acreditava-se que o cérebro de um adulto não se modificava; porém, hoje se sabe que isto não é verdade. Não se sabe qual o grau de plasticidade do cérebro adulto em comparação ao da criança, só que é menor. Além disso, ainda não é compreendido inteiramente como a plasticidade opera em todos os seus diversos níveis, e quanto uma determinada parte do cérebro pode perder, quando faz as funções de outra.[12,13]

Para facilitar a compreensão dos cientistas ao tentar desvendar o funcionamento do cérebro, de uma forma geral, sem levar em conta as características individuais, costuma-se subdividir o cérebro em níveis inferiores e superiores. Acredita-se também que estes níveis têm funções de controlar atividades diferentes. Assim, para a maioria das pessoas, o nível

cerebral inferior e o cerebelo controlam as atividades subconscientes, a pressão arterial, a respiração, o equilíbrio, os reflexos de alimentação, como salivação, em resposta ao sabor do alimento, o lamber os lábios, os padrões emocionais como raiva, excitação às atividades sexuais, reação à dor ou ao prazer.[6]

Por isto, quando estamos com vontade de comer algo e começamos a salivar ou lamber os lábios, só com o "cheirinho" do alimento, é o nível cerebral inferior que está no comando. Assim como, quando ficamos excitados sexualmente, ou realizamos alguma atividade que nos dá prazer, na realidade é a parte inferior do cérebro que está controlando estas reações e comportamentos.

Já o nível cerebral superior, também chamado de córtex cerebral, controla, dentre outras funções, o pensamento, a aprendizagem e a memória.[6] Tudo o que sabemos, pensamos ou queremos, nossas melhores e piores lembranças são controladas pelo córtex cerebral.

No entanto, para formar as percepções há uma integração maior entre as estruturas cerebrais, por exemplo, existe uma região do cérebro chamada de tálamo que processa e distribui quase todas as informações vindas dos receptores sensoriais, bem como aquelas vindas dos neurônios motores que vão para o córtex cerebral. Também se acredita que o tálamo regule os níveis de consciência e aspectos emocionais das percepções, pois transporta informações para o sistema límbico (que controla as emoções). Além disso, o tálamo também participa do controle da postura e do movimento.[5-7,16]

Contudo, quando temos uma percepção pode haver outras mudanças no nosso corpo, por exemplo, ao observar uma cena que nos transmite medo, nosso corpo pode se paralisar, podemos suar, ficar brancos e para controlar estas reações existe, no cérebro, uma outra região chamada de hipotálamo. Isto é possível, porque o hipotálamo regula o sistema nervoso vegetativo (SNV ou SNA- sistema nervoso autônomo) e a secreção de hormônios, por isto regula funções vitais, como a temperatura corporal, a freqüência cardíaca, a pressão arterial, a capilaridade sangüínea, a ingestão de alimentos e água. Os neurônios do hipotálamo agem para preservar as condições constantes do organismo, ou seja, regulam a homestasia, também está envolvido com as emoções.[5-10,16,17]

Os neurônios do hipotálamo secretam hormônios que se comunicam com a glândula hipófise, comandando a inibição ou liberação dos hormônios que são produzidos nesta

glândula. Esta glândula, por sua vez, atua na regulação do funcionamento de outras como as sexuais, da tireóide, do córtex adrenal e do crescimento dos ossos. Então, o hipotálamo e a hipófise funcionam como um sistema de integração e saída para todo o sistema nervoso central. Existem casos, onde há um distúrbio no funcionamento do hipotálamo e, conseqüentemente, a hipófise também não funciona bem, o que leva a disfunções endócrinas e psiquiátricas. Além disso, o hipotálamo possui extensas conexões com o tálamo e com algumas áreas do córtex que recebem informações do sistema nervoso vegetativo.[5-10,16, 17]

O sistema nervoso vegetativo possui nervos espalhados por todo o corpo, sendo responsável por controlar aquelas funções que não controlamos conscientemente, como os batimentos do coração, a respiração, a digestão, dentre outras. Para isto, é subdividido em simpático e parassimpático, sendo que o simpático participa da resposta do corpo ao estresse, enquanto o parassimpático atua para conservar os recursos do corpo e restaurar o equilíbrio.[4-10]

Mas, para que servem os neurônios da divisão simpática e parassimpática? Como eles controlam funções diferentes?

Geralmente, os neurônios da divisão parassimpática coordenam funções opostas dos da divisão simpática, sendo que estes últimos são mais ativos durantes os períodos de emergência! Por exemplo: quando sentimos uma emoção muito forte, como medo intenso, ansiedade, estresse, ou quando estamos em perigo, quando a temperatura corporal está se desviando do seu valor ideal, dentre outras situações são os neurônios da divisão simpática que estão atuando. Por outro lado, a divisão parassimpática tende a manter o organismo saudável em longo prazo, por isto facilita os processos de digestão, a resposta imunitária e o armazenamento de energia.[7]

Mas, para que servem as outras partes do sistema nervoso como o tronco encefálico, o bulbo, a medula espinhal, o cerebelo ou os nervos cranianos? O que eles coordenam? Como se comunicam com o cérebro?

A medula espinhal, por exemplo, está intimamente relacionada com o movimento. Podemos verificar isto em pessoas que sofreram um tipo de acidente e infelizmente ficaram tetraplégicas ou paraplégicas; como no caso do escritor brasileiro Marcelo Rubens Paiva ou do ator americano Chistopher Reeve; não possuem nada de errado nas pernas e braços, mas

sim uma lesão na medula espinhal.[12,13,18] Ela está em continuidade com o tronco encefálico e seus neurônios conduzem as informações vindas da pele, das articulações e dos músculos para o encéfalo, assim como dele para estes órgãos.[5-10]

Os neurônios da medula espinhal comandam a ação dos nervos que comandam as ações dos músculos, mas quem comanda os movimentos? Este comando vem do cerebelo e do cérebro. O cerebelo possui extensivas conexões com o cérebro e com a medula espinhal. Ele também desempenha um papel na manutenção da postura e coordenação dos movimentos da cabeça e dos olhos, assim é devido ao comando do cerebelo, que, por exemplo, os músculos dos olhos se movimentam para prestarmos atenção em algo, para escolhermos o que queremos ver.[5-10]

Além destas estruturas, acima da medula, há uma pequena estrutura chamada de bulbo, que contém diversos centros responsáveis por funções vitais, como a digestão, a respiração e controle da freqüência cardíaca.[6] Além disso, ele contém núcleos que levam a informação vinda dos receptores sensoriais para os centros superiores do cérebro, assim como também possui vias que trazem os comandos motores para a medula espinhal.[16] Imagine, uma que uma pessoa sofra uma lesão neste órgão, seria impossível dela continuar vivendo...

O mesmo pode ocorrer se uma pessoa sofrer uma lesão grave no tronco encefálico, pois este também regula funções vitais, como a respiração, o estado de alerta consciente e a temperatura corporal. A principal função do tronco encefálico é enviar informações do cérebro para a medula espinhal e cerebelo, e vice-versa. Por isto, uma lesão grave neste órgão é fatal.[6] Mas, como o tronco encefálico se comunica com o cérebro e com as outras partes do organismo?

O tronco encefálico contém os núcleos dos nervos cranianos, que estão dispostos em 12 pares, sendo responsáveis por enviar informações vindas dos receptores da gustação, visão, olfato, audição e tato para o cérebro. Também são responsáveis por conduzir informações sobre os movimentos dos olhos e das pálpebras, dos músculos da mastigação, dos músculos da expressão facial, da língua, do equilíbrio, das glândulas salivares, da pressão arterial, do coração, dos pulmões, dos órgãos abdominais, da dor e do tamanho das pupilas. Porém, somente dois pares de nervos cranianos, que estão envolvidos com os

sentidos do olfato e da visão, fazem parte do sistema nervoso central. Os demais fazem parte do periférico (SNP).[5-10]

Até agora, discutindo o que o sistema nervoso controla, percebemos que suas funções são muitas e diversas... Por isto, entender ou desvendar tudo o que ocorre nele é uma tarefa dificílima, até mesmo impossível, pois o número de neurônios que possuímos é muito grande (cerca de 100 bilhões), e a maneira como eles interagem é muito complexa e pode divergir entre os indivíduos. A ciência, apesar de todo o avanço que obteve nesta área, principalmente, no final do século passado, ainda está no início deste estudo. Por isto, ainda há muito que descobrir e talvez, mesmo com toda a tecnologia disponível, o homem nunca consiga entender completa e totalmente seu funcionamento.

O funcionamento do encéfalo pode ser característico, único e individual, porém, o modo como os neurônios se comunicam com os receptores espalhados pelo corpo e pelos órgãos dos sentidos é o mesmo para todos. Para entender, mesmo que de uma maneira geral, como são formadas as sensações no cérebro é necessário entender como os neurônios funcionam, como transformam os estímulos em sensações, porque são diferentes das demais células, dentre outras questões, que serão discutidas a seguir.

• O Neurônio e a Transmissão de Informação

Além dos neurônios, também existem no sistema nervoso, as células da glia, que exercem funções vitais, pois agem, principalmente, como elementos de sustentação entre os neurônios. Elas também são importantes por manter a concentração de alguns íons no meio extracelular e remover alguns neurotransmissores liberados pelos neurônios durante a comunicação química, na sinapse.[4-10]

Algumas células da glia também participam de um revestimento impermeável entre os vasos sanguíneos e o tecido nervoso. Este revestimento é chamado de barreira hemato-encefálica e é de importância fundamental, pois impede que substâncias tóxicas cheguem até o sistema nervoso, protegendo-o. Esta barreira existe em quase todas as regiões do sistema nervoso central, não somente no encéfalo, como sugere seu nome.[4-10]

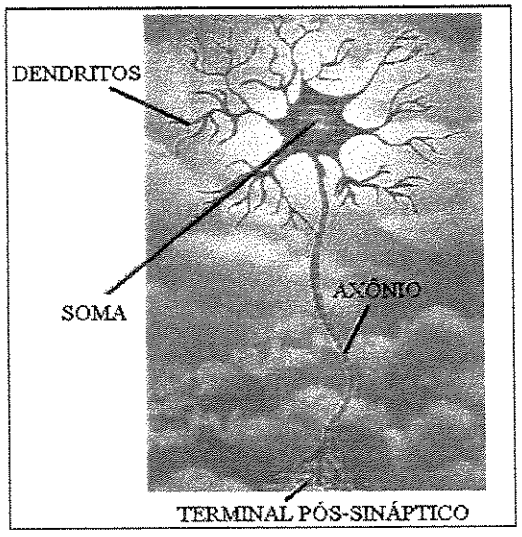
Como então algumas substâncias conseguem chegar até o cérebro? Muitas drogas de abuso, como a nicotina, o álcool, a heroína, o ecstasy, a cocaína, assim como alguns

medicamentos, como os ansiolíticos, antidepressivos, só conseguem chegar e agir no encéfalo, porque possuem uma parte lipossolúvel na sua estrutura, por isto atravessam a barreira hemato-encefálica. Portanto, a capacidade de uma molécula passar do sangue para o sistema nervoso depende de seu gradiente de concentração, do seu tamanho, da sua distribuição de cargas e da sua lipossolubilidade, pois esta barreira é, principalmente, formada por lipídios. Quando há um mecanismo de transporte para a molécula, ela também consegue atravessá-la.[8,10]

Desta forma, moléculas que são importantíssimas para o bom funcionamento do sistema nervoso, como o oxigênio, a glicose e alguns íons e aminoácidos específicos, conseguem atravessar a barreira.

As células da glia, apesar de não transmitirem informações, são fundamentais para o bom funcionamento do sistema nervoso. As informações somente são transmitidas pelos neurônios, que é formado por algumas regiões típicas: a soma, os dendritos, o axônio, a região pós-sináptica e o pré-sináptica, conforme a figura 2.[3-5]

Figura 2- Ilustração das partes do neurônio.



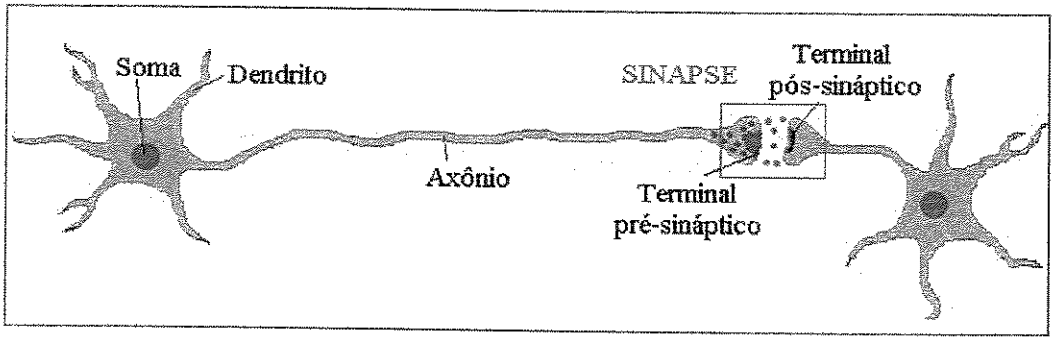
O soma contém uma grande quantidade de organelas, como por exemplo: núcleo, retículo endoplasmático, aparelho de Golgi e mitocôndrias. Estas organelas são responsáveis pelas funções celulares típicas como respiração, excreção, transporte,

reprodução, dentre outras. O soma dá origem a dois tipos de prolongamentos: os dendritos e o axônio.[5-7]

O axônio é um filamento longo, único ou ramificado, que sai do soma, ele é especializado em transferência de informações entre pontos distantes do sistema nervoso, estas informações são conduzidas ao longo dele na forma de sinais elétricos, chamados de impulsos nervosos ou potenciais de ação.[5-10]

A região que fica entre o final do axônio de um neurônio e receptor de outro é denominada de sinapse, conforme ilustrado na figura 3. Assim, a parte final de um axônio, de onde é liberado o neurotransmissor é chamada de região pré-sináptica e aquela onde se encontram os receptores é a região pós-sináptica.[5-11]

Figura 3 – Ilustração da sinapse.



Basicamente, os neurônios comunicam-se química e eletricamente. Assim, quando um receptor sensorial recebe um estímulo, há uma mudança no seu potencial, chamada de potencial de receptor (sensorial). Isto faz com que ele libere uma substância que será captada por um receptor de um neurônio, que integrando todas as informações recebidas, pode gerar um potencial de ação, que será conduzido ao longo do axônio, até chegar na sinapse. Desta maneira, a informação é conduzida do receptor sensorial até o sistema nervoso central.[5-7]

Os potenciais de ação são iguais, por isso, a informação não é determinada por ele. O que diferencia a informação é o local por onde o sinal atravessa, ou seja, os neurônios que conduzem a informação. O funcionamento integrado dos vários neurônios é que faz com que uma informação seja analisada e interpretada.[6]

O que é o potencial de ação? Como ele é formado? Por que os neurônios são capazes de produzi-los? A seguir discutiremos melhor estas questões.

• O potencial de ação

O neurônio é capaz de produzir o potencial de ação, pois contém em sua parte interna uma solução aquosa com íons Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^- e está inserido em uma solução similar, mas com diferentes concentrações, conforme os dados da tabela **1**.[7]

Tabela 1- Dados sobre as concentrações dos íons Na^+, K^+, Ca^{2+} e Cl^- no meio intracelular ($[íon]_{interna}$) e no meio extracelular dos neurônios ($[íon]_{externa}$).

Íon	$[íon]_{externa}/10^{-3}$ mol.L^{-1}	$[íon]_{interna}/10^{-3}$ mol.L^{-1}	**Razão exterior/ interior**
K^+	5	100	1:20
Na^+	150	15	10:1
Ca^{2+}	2	0,0002	10.000:1
Cl^-	150	13	11,5:1

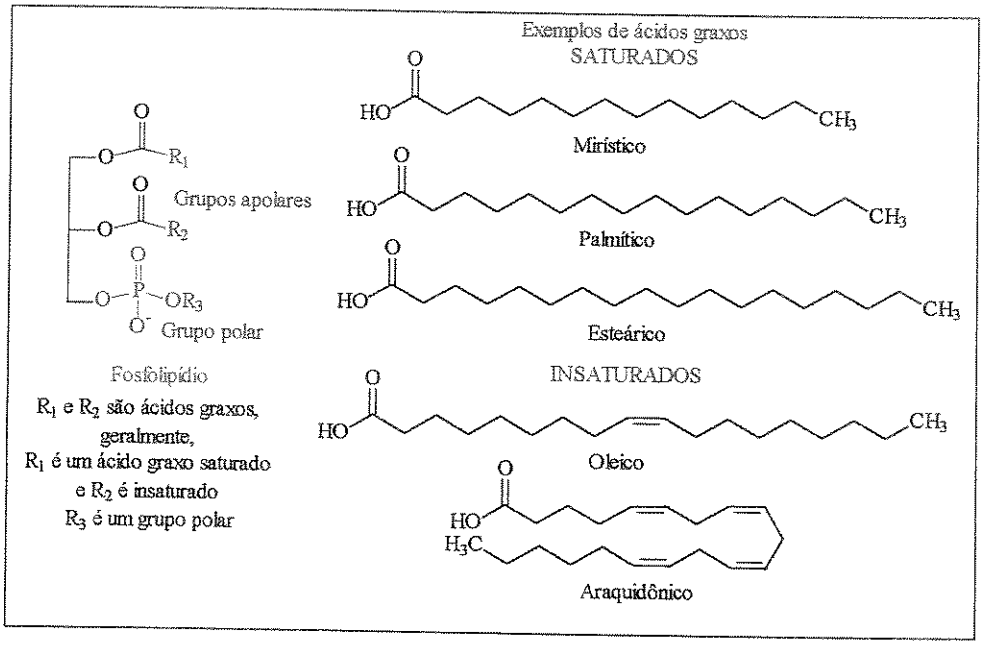
Além desses íons, o interior do neurônio é rico de proteínas carregadas negativamente. Porém, estas moléculas estão isoladas, sendo assim incapazes de se movimentar.[5] No entanto, os íons sódio, potássio, cálcio e cloro conseguem se movimentar. Mas, como? Por que isto é tão importante? O que aconteceria se estes íons também estivessem isolados? Por onde estes íons passam?

Estes íons atravessam determinados canais iônicos existentes nas membranas dos neurônios. Se estes canais não existissem estes íons estariam isolados, pois as membranas são compostas, principalmente, por lipídios. As membranas são, ou seja, não deixando entrar ou sair qualquer composto do neurônio. Por isto, somente as moléculas lipossolúveis ou apolares e íons que conseguem atravessar os canais, ou seja, se movimentar entre os meios extra e intracelular. As moléculas polares ou carregadas que não possuem canais ou proteínas capazes de transportá-las, ficam isoladas. Portanto, a membrana atua como uma

barreira, o que permite ao neurônio manter sua composição interna diferente da composição do meio externo.[5-10,16, 19, 20]

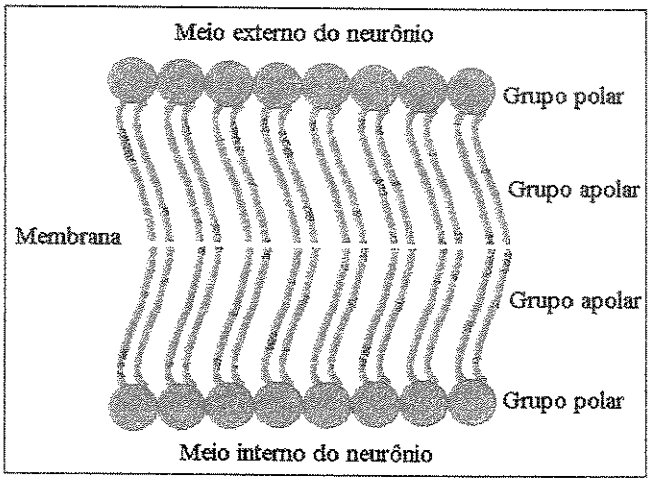
Os lipídios que constituem as membranas pertencem a classe dos fosfolipídios, que é um grupo de moléculas, formadas a partir do triacilglicerol, cujos carbonos **1** e **2** encontram-se ligados, por uma ligação éster, à ácidos graxos. Já a hidroxila do carbono **3** está unida por uma ligação éster ao ácido fosfórico. As cadeias de ácidos graxos são apolares (hidrofóbicas), por outro lado, o grupo fosfato (*-PO_3*), ligado em uma outra extremidade, é polar (hidrofílico). Os esquemas das estruturas dos fosfolipídios estão ilustrados na figura **4**.[17,19,20]

Figura 4- Esquemas das estruturas dos *fosfolipídios*.



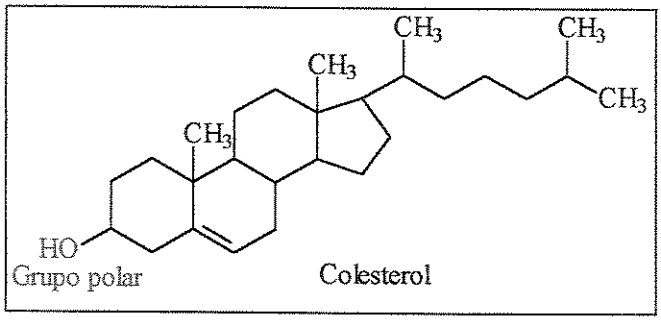
Geralmente, a cadeia de ácido graxo ligado ao carbono *1* do triacilglicerol é saturada, enquanto que a ligada ao carbono *2* é insaturada. Além disso, como possuem grupos polares e apolares, eles se organizam na membrana formando uma dupla camada, conforme ilustrado na figura **5**. Nesta dupla camada a parte polar do fosfolipídio fica em contanto com o meio aquoso, por ser hidrofílica. Já a parte apolar fica em contato uma com a outra, ocupando assim o centro da membrana. Desta forma, a camada apolar impede que moléculas polares ou íons entrem no neurônio.[7,17,19,20]

Figura 5- Ilustração de uma bicamada da membrana fosfolipídica.



O colesterol, cuja estrutura está ilustrada na figura **6**, é um outro lipídio que está presente em grandes quantidades nas membranas e é responsável por regular sua rigidez, pois fica interposto entre as moléculas de fosfolipídios. Esta molécula possui um grupo hidroxila, que é polar, e que, portanto, interage com os grupos fosfatos. Também possui uma cadeia esteróide, que fica paralela às cadeias de ácidos graxos dos fosfolipídios; esta interação faz com que eles fiquem imóveis e empacotados, por isto a membrana torna-se mais rígida.[5-10,19]

Figura 6- Estrutura do colesterol.



Esta composição das membranas dos neurônios faz com que elas atuem como barreiras para moléculas polares e, portanto, hidrossolúveis. Além disso, também permite a

manutenção das diferenças de concentrações entre os íons no meio extracelular e intracelular, pois não permite que eles passem livremente pelos dois lados do neurônio, o que tenderia a igualar as concentrações.[7]

No entanto, os íons sódio, potássio, cálcio e cloreto, conseguem atravessar a membrana, isto porque possuem mecanismos próprios para este transporte. Tanto no meio extra, quanto no meio intracelular, estes íons encontram-se solvatados por moléculas de água. Embora a carga efetiva da água seja nula, o oxigênio é mais eletronegativo que o hidrogênio, por isto ele fica com maior densidade eletrônica, atraindo os cátions através de interações eletrostáticas. Por outro lado, o hidrogênio fica com menor densidade eletrônica, tendendo a ser atraído pelos ânions, pelo mesmo tipo de atração.

Os íons não tendem a se dissolver nas cadeias lipídicas da membrana, pois para isto precisariam primeiro se desprender das moléculas de água, o que necessitaria de uma quantidade de energia muito grande, que teria que ser maior que as forças atrativas eletrostáticas que unem eles às moléculas de água. Desta maneira, se a membrana fosse somente composta por fosfolipídios, eles estariam isolados, e seria impossível o neurônio conduzir os sinais elétricos.[10]

Como estes íons se movimentam? Como é possível haver uma diferença de potencial entre os dois lados da membrana? Como o neurônio conduz sinais elétricos? Do que são feitos os canais iônicos?

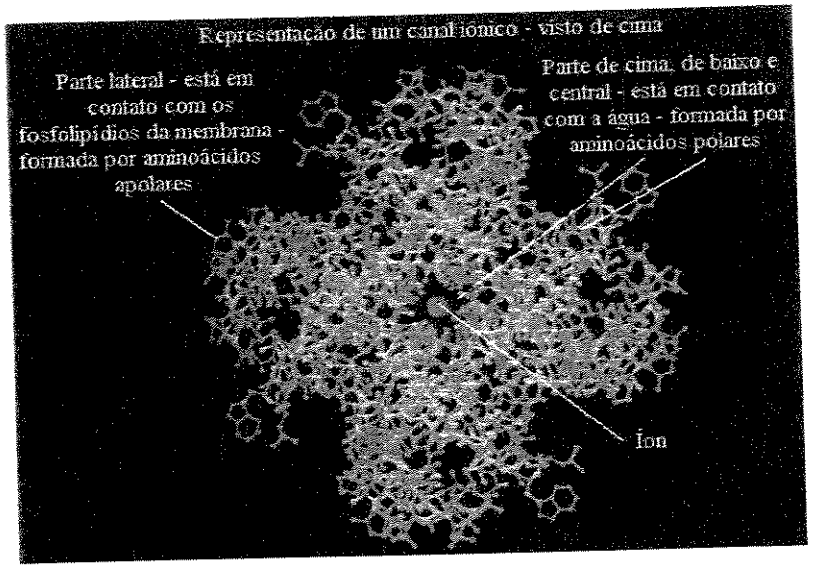
Os canais iônicos são formados por quatro a seis moléculas de proteína, sendo seletivos para os diferentes íons: Na^+, Cl^-, Ca^{2+}, K^+, ou seja, somente deixam passar um tipo especifico de íon, desta forma existem os canais de sódio, de potássio, de cálcio e de cloreto.[7]

Os aminoácidos polares que formam as proteínas dos canais iônicos ficam em contanto com os ambientes aquosos, como a parte de cima, a de baixo e a interna do canal, como ilustrado na figura **7**. Já os aminoácidos que estão em contanto com os fosfolipídios são apolares, portanto, lipofílicos.[5,8]

Quando os canais iônicos estão abertos, os íons podem se movimentar por difusão, de modo que se estiverem mais concentrados do lado de fora do neurônio, tendem a entrar. Da mesma forma que se estiverem mais concentrados dentro dele, tendem a sair. Quando os íons vão de um ambiente mais concentrado para um ambiente menos concentrado, como

ocorre quando passam por um canal iônico, assumem espontaneamente a distribuição de maior desorganização, ou seja, há um aumento de entropia, o que favorece o movimento, que neste caso é o de difusão*.[21]

Figura 7- Representação de um canal iônico.



Como os íons atravessam o canal? Por que eles são seletivos? Como deixam passar somente os íons para os quais são específicos? Como permitem que íons maiores passem pelo canal, mas não permitem que íons menores o atravesse?

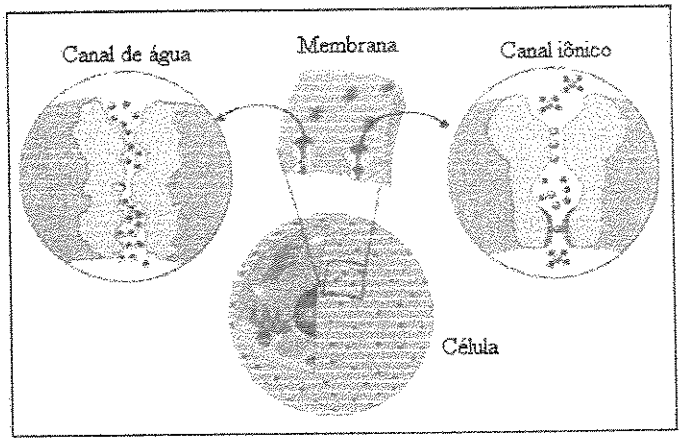
Estas perguntas têm sido feitas desde que se descobriram estes canais e em outubro de 2003 o prêmio Nobel de química foi concedido para dois cientistas que as responderam: Peter Agre, da Universidade de Johns Hopkins, e Roderick MacKinnon, da Universidade Rockefeller que são autores de estudos pioneiros que detalharam a estrutura e funcionamento dos canais de água e íons na membrana das células.[22-27]

Roderick MacKinnon foi premiado por descrever o funcionamento e estrutura tridimensional da proteína que constitui os canais que regulam o fluxo de íons através das membranas celulares. Em 1998, ele descreveu pela primeira vez os canais iônicos: átomo por átomo, e explicou por que eles são seletivos, conforme o esquema da figura 8.[22-27]

---

* A difusão é um movimento de partículas através de uma membrana semipermeável aonde estas partículas vão de um meio mais concentrado para um meio menos concentrado.

Figura 8- Esquema dos canais presentes na célula: iônicos e de água.



Os canais iônicos catalisam a difusão de íons pelos seus diferentes gradientes eletroquímicos. Eles, assim como as enzimas possuem substratos específicos, desta forma só deixam passar os íons para os quais são seletivos.[23] Por exemplo, sabemos que o íon sódio é menor que o íon potássio, é simples de entender porque o potássio não entra num canal de sódio, o que ocorre porque ele simplesmente não cabe no canal. Mas, por que um íon sódio não consegue entrar num canal e potássio? Isto ocorre porque ele não se ajusta corretamente dentro do canal.

Se o íon entrasse no canal iônico com suas águas de hidratação, ou seja, se estivesse solvatado, isto pouco mudaria, já que o tamanho dos íons solvatados é relativamente parecido. Portanto, para poder atravessar um canal, o íon tem que perder suas águas de hidratação. Mas, isto é energeticamente desfavorável! Para compensar esta energia desprendida ocorre uma interação entre os íons e átomos específicos de determinados aminoácidos presentes no interior do canal. Além disso, como a concentração do íon é maior de um lado do que de outro através da membrana, estes íons são empurrados por difusão, de tal forma, que a interação entre o íon e o aminoácido é muito rápida (dura cerca de 1 microssegundo).[6,23,24]

Mackinon também conseguiu demonstrar que a distância entre os átomos de oxigênio que estão localizados dentro do canal e o íon potássio é igual à distância entre este íon e os átomos de oxigênio das moléculas de água que o rodeiam em solução. Desta forma, o canal é seletivo somente a este íon, pois os íons sódio que são menores, por exemplo, não

conseguem atravessar o canal por não se ajustarem adequadamente entre os átomos de oxigênio que estão dentro do canal, permanecendo, por isto, em solução.[27]

Além disso, os canais iônicos têm que ter a propriedade de abrir e fechar, respondendo assim a diferentes estímulos. Mas como isto é possível? Mackinon provou que isto ocorre por meio de um portão situado no fundo do canal, que se abre ou fecha em resposta a um sensor molecular próximo a ele. Este sensor pode reagir a um sinal, por exemplo, à aproximação de alguma molécula ou ao aumento na concentração de íons cálcio ou mesmo a uma diferença de potencial na membrana da célula, desta forma, os neurônios podem responder a vários estímulos diferentes.[27]

A intensidade do fluxo iônico que passa por um canal depende das concentrações do íon na solução. Em baixas concentrações, a corrente aumenta com a concentração, porém, em contrações altas, a corrente tende a atingir um valor, além da qual ela não aumenta mais, mesmo com um aumento da concentração. Esse efeito ilustra que a permeabilidade dos íons envolve a sua interação com os átomos específicos dos aminoácidos polares, localizados no interior dos canais, pois se a difusão fosse o único fator que movesse o íon, a corrente deveria aumentar com a concentração.[5-7]

Não são todos os canais iônicos que estão abertos quando os neurônios não estão recebendo nenhum estímulo, pelo contrário, a membrana é mais permeável aos íons sódio e potássio e como os íons possuem concentrações diferentes nos dois lados da membrana, além dos movimentos iônicos através do canal, por difusão, cria-se uma diferença de potencial elétrico entre os dois lados da membrana.[5-10]

Esta diferença de potencial pode ser determinada a qualquer momento, ou seja, quando o neurônio está em repouso ou quando está recebendo estímulos*. Calcula-se que os neurônios mantêm uma diferença de potencial elétrico através de suas membranas, sendo que o seu interior é negativamente carregado em relação ao meio extracelular.[5-10]

A presença de ânions que não podem atravessar a membrana faz com que o potencial do neurônio seja negativo no meio intracelular em relação ao meio extracelular. Essa diferença de potencial elétrico, através da membrana, no neurônio em repouso é chamada de potencial de repouso da membrana.[5,6]

---

* Isto pode ser feito pela inserção de microeletrôdos nos neurônios que calculam esta diferença de potencial.

Conforme mostramos na tabela 1, o íon Na^+ está em maior concentração de um lado extracelular do que um lado intracelular. Se não existisse qualquer diferença de potencial elétrico entre os dois lados, os íons Na^+ tenderiam a difundir do lado mais concentrado para o lado menos concentrado. Como o lado intracelular é negativamente carregado em relação ao lado extracelular, os íons Na^+ também tendem a se difundir do lado extra para o intracelular, devido à sua diferença à diferença de potencial elétrico.[7,10]

A direção do movimento efetivo do íon depende de qual é o maior efeito, se o da diferença de concentração ou o da de potencial elétrico. A quantidade que permite comparar as contribuições relativas das concentrações iônicas e do potencial elétrico sobre o movimento de um íon é chamada de potencial eletroquímico (μ) de um íon, e a diferença de potencial eletroquímico para um íon, através da membrana, é definido como:[10]

$$\Delta\mu = \mu_{intracelular} - \mu_{extracelular} =$$

$$\Delta\mu = RTln\ [ion]_{intracelular}/[ion]_{extracelular} + zF\ (E_{intracelular} - E_{extracelular})$$

Onde:

$\Delta\mu$ = diferença de potencial eletroquímico do íon entre os lados intracelular e extracelular; R = constante dos gases = 8,314 $J.K^{-1}.mol^{-1}$; T = temperatura (K); z = carga do íon; F = constante de Faraday = 96,485 C; $[ion]_{extracelular}$ = concentração do íon no meio extracelular ($mol.L^{-1}$); $[ion]_{intracelular}$ = concentração do íon no meio intracelular ($mol.L^{-1}$); ($E_{intracelular} - E_{extracelular}$) = diferença de potencial elétrico através da membrana.

O termo: $RTln\ [ion]_{intracelular}/[ion]_{extracelular}$ ilustra a tendência dos íons de se moverem entre os lados da membrana, devido à diferença entre as concentrações. Por outro lado, o termo: $zF(E_{intracelular} - E_{extracelular})$, ilustra a tendência dos íons de se moverem devido a diferença de potencial elétrico.[10]

Os íons tendem a se mover espontaneamente de um lado que possui um *potencial eletroquímico maior para um potencial eletroquímico menor*[*]. Para fazer com que um íon

[*] $\Delta\mu$ é a diferença de potencial eletroquímico do íon no lado intracelular menos o do lado extracelular; se $\Delta\mu$ for positivo ($\Delta\mu > 0$), os íons tenderão a se mover do meio intra para o extracelular, ou seja, tendem a sair do neurônio. Se $\Delta\mu$ for zero, ($\Delta\mu = 0$), não há uma tendência efetiva para que os íons se movimentem. Por outro

mova-se contra a diferença de potencial eletroquímico, deve-se fornecer energia para o sistema, pois ele realiza trabalho. Isto ocorre, quando um íon é deslocado de um meio menos concentrado para um meio mais concentrado. Por outro lado, quando ele é transportado a favor da diferença de potencial eletroquímico, uma certa quantidade de energia é dissipada, e esta energia pode ser utilizada para realizar trabalho.[10]

Por isto, quando $\Delta\mu = 0$ não existe qualquer força efetiva atuando sobre o íon, conseqüentemente, esse íon está em equilíbrio eletroquímico através da membrana. No equilíbrio, $\Delta\mu = 0$, obtém-se:[10,21]

$$E_{intracelular} - E_{extracelular} = -RT/zF \ ln[ion]_{intracelular}/[ion]_{extracelular} =$$
$$E_{íon} = RT/zF \ ln[ion]_{extracelular} / [ion]_{intracelular} = Equação\ de\ Nernst$$

Onde: $E_{íon}$ = potencial do íon no equilíbrio (V).

A Equação de Nernst pode ser utilizada para calcular o potencial de equilíbrio** para os diferentes íons através da membrana. Sabendo-se que a temperatura corporal é de aproximadamente 37°C (310 K) e utilizando a Equação de Nernst, podemos calcular o potencial de equilíbrio para cada íon e estes estão na tabela **2**.[7,10]

Tabela 2- Determinação do potencial de equilíbrio para os íons Na^+, K^+, Ca^{2+} e Cl^- através da equação de Nernst.

Equação de Nernst	$E_{íon}$ / ***mV***
$E_{K^+} = 61{,}54 \log [K^+]_e/[K^+]_i$	-80
$E_{Na^+} = 61{,}54 \log [Na^+]_e/[Na^+]_i$	62
$E_{Ca^{2+}} = -\ 61{,}54 \log [Cl^+]_e/[Cl^+]_i$	123
$E_{Cl^-} = 30{,}77 \log [Ca^{2+}]_e/[Ca^{2+}]_i$	-65

lado, se $\Delta\mu$ for negativo ($\Delta\mu < 0$), eles tenderão a se mover do lado extracelular para o lado intracelular, ou seja, tenderão a entrar no neurônio.

** O potencial de equilíbrio é o potencial elétrico estacionário que seria atingido se a membrana fosse totalmente permeável ao íon. Isto aconteceria se todos os canais iônicos estivessem abertos e nesta situação, eles poderiam se movimentar pelos dois lados da membrana espontaneamente.

A Equação de Nernst só é satisfatória quando os íons estão em equilíbrio, mas pode ser útil para prever a direção em que eles tenderão a se movimentar, pois se o potencial elétrico medido for do mesmo sinal que o calculado pela equação, mas maior em amplitude, a força elétrica será maior do que a força de concentração, e tenderá a ocorrer movimento efetivo do íon na direção determinada pela força elétrica. Por outro lado, quando a diferença de potencial elétrico é do mesmo sinal, mas é numericamente menor do que a calculada pela equação, a força de concentração será maior do que a força elétrica, e ocorrerá um movimento efetivo do íon na direção determinada pela diferença de concentração.[6,7,10]

Como o potencial da membrana de um neurônio no repouso, é de aproximadamente –65 mV, podemos prever que os íons cloreto estão em equilíbrio elétrico, mas como não estão em equilíbrio de concentração, tenderão a entrar no neurônio. Pela mesma razão, o íon potássio, tenderá a se mover para fora do neurônio.[5-10]

Se a diferença de potencial elétrico medida através da membrana tiver sinal oposto ao previsto pela Equação de Nernst para um íon em particular, as forças elétricas e de concentração atuam a mesma direção, assim, esse íon não pode estar em equilíbrio, e tenderá a fluir na direção determinada pela forças elétrica e de concentração. Isto pode ser observado para os íons sódio e cálcio, que tendem a entrar no neurônio.[6,7]

Se todos os canais iônicos estivessem abertos, o potencial real da membrana seria a soma de todos estes potenciais de equilíbrio e teria o valor de 40 mV e o interior do neurônio seria positivo em relação ao seu exterior, quando o neurônio estivesse em repouso. Porém, esta não é a sua situação real, pois na verdade o seu interior é negativo em relação ao exterior, quando não está recebendo nenhum estímulo. Para calcular a diferença de potencial real do neurônio é preciso levar em conta que a membrana é mais permeável a um íon do que a outros, ou seja, que durante o repouso somente determinados canais iônicos estão abertos.[6,7]

Considerando-se que a membrana é, principalmente, permeável aos íons K^+ e ao Na^+ e que a membrana é cerca de 40 vezes mais permeável ao K^+ do que Na^+, pode-se calcular o potencial real da membrana no repouso, utilizando a Equação de Goldman, que leva em conta as permeabilidades relativas:[7]

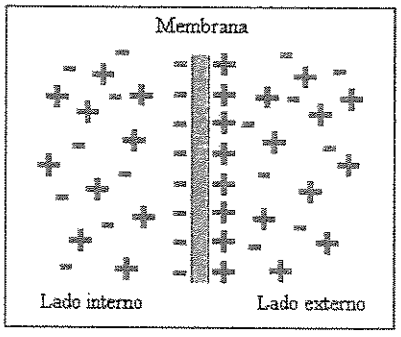
$$V_m = 61{,}54 \log P_K[K^+]_{externa} + P_{Na}[Na^+]_{externa} / P_K[K^+]_{interna} + P_{Na}[Na^+]_{interna}$$

Onde:

V_m = potencial da membrana; P_K = permeabilidade relativa do K^+; P_{Na} = permeabilidade relativa do Na^+; $[K^+]_{externa}$ = concentração extracelular do K^+ (mol . L^{-1}); $[Na^+]_{externa}$ = concentração extracelular do Na^+; $[K^+]_{interna}$ = concentração intracelular de K^+; $[Na^+]_{interna}$ = concentração intracelular de Na^+.

Através dos cálculos obtém-se o valor de *-65 mV* que é um valor que se aproxima do real, que pode ser verificado experimentalmente. Portanto, a membrana do interior do neurônio é eletricamente negativa em relação ao meio externo no repouso, conforme ilustrado na figura 9.[6]

Figura 9- Ilustração da distribuição desigual dos íons através da membrana neuronal.



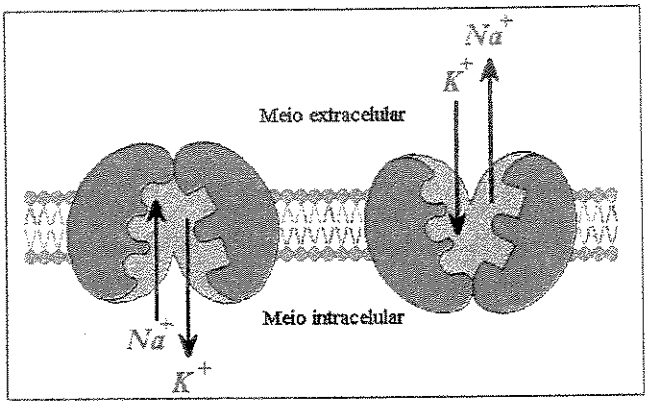
O potencial de repouso da membrana é devido: à diferença de gradientes de concentração dos íons sódio e potássio, à alta permeabilidade da membrana ao potássio e a baixa ao sódio. Como o potássio está muito concentrado no interior no neurônio, e como a membrana é bastante permeável a ele, ele tende a sair do neurônio e, à medida que isto acontece, a face interna da membrana vai ficando com uma nuvem de cargas negativas.[6]

O potencial da membrana tenderia a variar se só existissem os canais iônicos, pois como alguns canais de sódio e potássio permanecem abertos, as tendências destes íons é de se movimentar até que as concentrações deles dos dois lados da membrana se igualem.

Felizmente, a natureza encontrou uma forma de garantir esta diferença de potencial. Mas, como?

As concentrações iônicas são mantidas pela ação das bombas iônicas, sendo as principais a de sódio e potássio e a de cálcio. A bomba de sódio e potássio, conforme ilustrado na figura **10**, mantém a baixa concentração de sódio no interior da célula, enquanto também mantém a alta concentração intracelular de potássio. Por isto, age transportando os íons contra o seu gradiente de concentração, o que requer energia.[3-8]

Figura 10- Ilustração da bomba sódio e potássio.



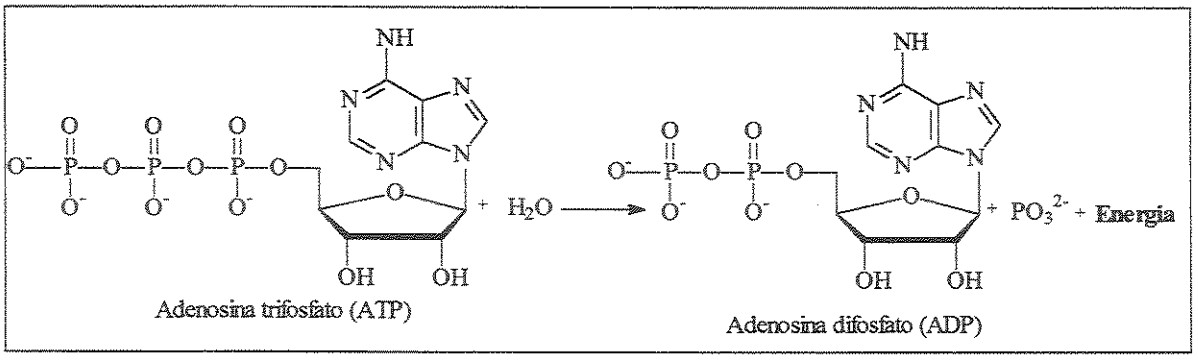
Como a bomba de sódio e potássio necessita de energia para funcionar, este tipo de transporte iônico através da membrana deve utilizar ATP para funcionar. Toda a energia utilizada pelo sistema nervoso, assim como de outras partes do organismo, é fornecida pela hidrólise de ATP (adenosina trifosfato), em ADP (adenosina difosfato) e fosfato, que libera cerca de 7.600 cal/mol de energia, por ser uma reação exergônica, conforme ilustrado na figura **11**.[8-10, 19-20]

A bomba de sódio e potássio transporta três íons sódio para fora da célula e dois íons potássio para dentro da célula para cada molécula de ATP que é hidrolisada. Quando uma molécula de ATP é hidrolisada, há a liberação de um grupo fosfato que pode reagir com a proteína que formam as bombas, fosforilando-a.[4,6]

A fosforilação e a desfosforilação da proteína fazem com que ela se alterne entre duas conformações. Em uma os sítios onde se ligam os íons têm alta afinidade para o sódio e baixa afinidade pelo potássio, e esses sítios de fixação estão voltados para o meio

intracelular. Na outra, os sítios onde se ligam os íons estão voltados para o meio extracelular, e suas afinidades favorecem a fixação de potássio e a liberação de sódio. A bomba, então, se alterna entre estas conformações, transportando potássio para dentro e sódio para fora do neurônio, mantendo assim a diferença de concentração e, portanto, a diferença de potencial elétrico, no repouso, entre os dois lados da membrana.[6,8]

Figura 11- Reação de hidrólise do *ATP*, formando *ADP* e PO_3^{2-}.



O que acontece quando um neurônio recebe um estímulo? Como o potencial de ação é gerado? Como ele é conduzido? O que ele determina? Quando um neurônio recebe um estímulo, o que ocorre o tempo todo, os canais de sódio abrem-se, e estes íons tendem a entrar no neurônio por difusão. Quando isto ocorre, seu interior fica, por um instante, positivo em relação ao seu exterior, então dizemos que houve uma despolarização. A diferença de potencial na membrana pode aumentar chegando a atingir um valor de aproximadamente 40 mV e esta despolarização é o que chamamos de potencial de ação ou impulso nervoso.[5-10]

Um potencial de ação é uma variação rápida do potencial de membrana, seguida por retorno ao potencial de repouso. Eles se propagam por longas distâncias, mas são regenerados à medida que são conduzidos, assim, são propagados com a mesma forma e amplitude ao longo de todo o comprimento do axônio, e está é a base da capacidade de transportar sinais dos neurônios. Por isto, apenas as variações da freqüência com que são gerados, podem ser usadas como um código para a transmissão de informação ao longo dos axônios.[5-10]

Após o potencial de ação os neurônios precisam voltar ao repouso, assim os canais de sódio são rapidamente fechados e os canais de potássio abrem-se e como a membrana está fortemente despolarizada, os íons K^+ que estão altamente concentrados dentro do neurônio são empurrados para fora, fazendo com que o potencial de membrana volte a ser negativo. Depois desta fase, há uma reorganização dos íons através da membrana para que o neurônio possa novamente gerar um outro potencial de ação.[5-10]

Quando chega no final do axônio, a despolarização da membrana provocada pelo potencial de ação, faz com que canais de cálcio se abram. Segundo, os resultados obtidos na Equação de Nernst, os íons cálcio, também tendem a entrar no neurônio. A elevação da concentração de íons cálcio causa a liberação dos neurotransmissores na região chamada de sinapse.[5-10]

A interação entre o neurotransmissor e o receptor é uma forma de comunicação química utilizada pelos neurônios. Para se ter uma idéia da importância desta comunicação, é a integração dentre elas que faz com que tenhamos sensações diversas, portanto, podemos imaginar que qualquer modificação neste processo pode gerar transtornos.

Isto é verdade, por exemplo, quando uma pessoa ingere algum tipo de droga, como a cocaína; podemos observar que ela fica excitada, com o corpo e os pensamentos estimulados e, isto ocorre porque a cocaína age numa parte do sistema nervoso que está envolvida com a percepção destes tipos de sensações e altera as comunicações químicas entre os neurônios desta região do encéfalo.*

Cada neurônio compartilha muitas sinapses (cerca de 10 mil), ou seja, recebe informações de muitos outros neurônios, vizinhos ou de outras partes do sistema nervoso; a integração de todas as informações recebidas pelos neurônios, é que faz com que tenhamos sensações e percepções diversas. Também é desta forma que podemos pensar, sonhar, aprender, lembrar, imaginar ou nos movimentar...

Podemos imaginar que existem muitos neurotransmissores e muitos receptores para que o sistema nervoso desempenhe funções tão diversas. Na verdade, até o presente foram identificados alguns, sendo que um mesmo pode interagir com diferentes tipos de receptores, tal como discutiremos a seguir.

---

* Ver *"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"*, páginas 225 a 228.

- **Neurotransmissores**

O que são neurotransmissores? Quais são estas moléculas responsáveis por tantas funções? O que elas fazem? Como agem? Que funções desempenham?

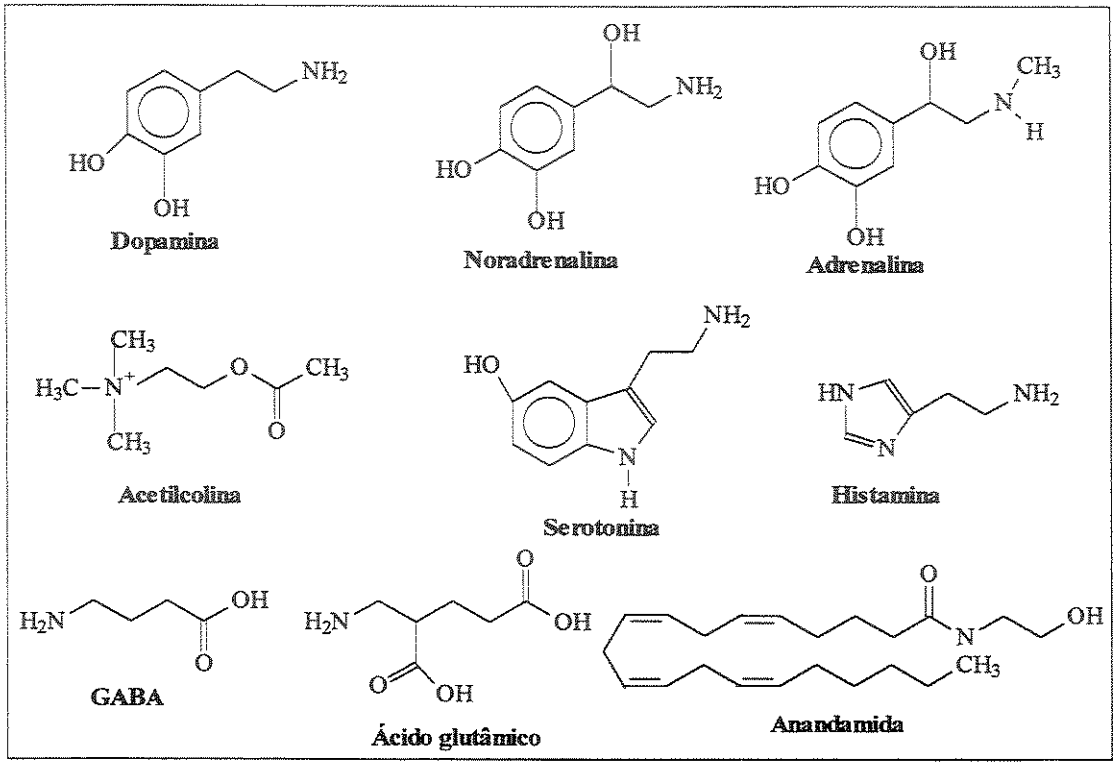
Para que uma molécula seja considerada um neurotransmissor ela deve ser sintetizada e estocada no neurônio que o irá liberar, além disso, ela só deve ser liberada quando este neurônio é estimulado, ou seja, quando o neurônio gera um potencial de ação. É importante definir o que é um neurotransmissor porque existem outras moléculas que atuam nas sinapses como os neuromoduladores. Estas, por sua vez, atuam na transmissão sináptica, influenciando na ação dos neurotransmissores, podendo alterar a quantidade que é liberada e modificando, assim, sua resposta. Por outro lado, existem moléculas que atuam como neurohormônios, ou seja, são secretados pelos neurônios na circulação sanguínea, como se fossem hormônios.[5,7,16]

Os neurotransmissores são moléculas simples, tais como: aminoácidos, aminas e peptídeos. Dentre as aminas podemos citar a acetilcolina, a serotonina, a histamina, a dopamina, a noradrenalina e a adrenalina. Recentemente, foi identificada uma amida que também age como neurotransmissor, a anandamida. Dentre os aminoácidos, podemos citar: a glicina, o glutamato e o GABA (ácido gama-aminobutírico). As estruturas dos neurotransmissores mencionados estão na figura **12**.[4-11]

A acetilcolina é o único neurotransmissor que se comunica diretamente com músculos voluntários, por isto, cada movimento que nós fazemos, como: comer, andar, conversar, respirar depende da sua liberação, que também parece contribuir para os processos de atenção, do despertar e da memória.[4]

Ela é secretada por neurônios de várias áreas do cérebro, assim como da medula espinhal, cujos neurônios são responsáveis pelos comandos dos músculos esqueléticos, cardíacos e motores. Além disso, este é o neurotransmissor mais utilizado pelos neurônios da divisão parassimpática do sistema nervoso vegetativo, que têm a função de manter o organismo saudável em longo prazo.[5-10]

Figura 12 – Estrutura dos neurotransmissores dopamina, noradrenalina, adrenalina, acetilcolina, serotonina, histamina, gaba, glutamato, glicina e anandamida.



Quando o cérebro está com uma quantidade inadequada de acetilcolina, há uma perda de memória, como ocorre no mal de Alzheimer. Esta doença se manifesta em 11% da população, geralmente, as pessoas que a possuem vão gradativamente perdendo sua habilidade de guardar fatos recentes, apesar de se lembrarem bem do que ocorreu num passado remoto. Nos estágios terminais, elas não reconhecem nem mesmo membros da família, nem conseguem encontrar seus caminhos na própria casa ou terminar suas sentenças, pois não se recordam do que pretendiam dizer. Muitos exames feitos após a morte destas pessoas revelaram que há uma atrofia generalizada do cérebro e um grande número de outras anormalidades, dentre elas um esgotamento no suprimento de acetilcolina.[4,16]

As outras aminas como a noradrenalina, adrenalina e dopamina são encontradas em regiões envolvidas na regulação do movimento, humor, atenção e das funções viscerais.

Eles regulam muitos comportamentos como o movimento dos músculos, o sono e a vigília, as sensações de prazer, as flutuações de humor.[4-7]

A dopamina age nos sistemas do cérebro envolvidos com os comportamentos motivados, como a fome, a sede, o sexo e a busca do prazer. Uma superatividade das sinapses de deste neurotransmissor pode desencadear a esquizofrenia. Esta severa doença mental é marcada por pensamento irracional, alucinações, perda de contato com a realidade e deterioração do comportamento de adaptação a rotina. Ela atinge cerca de 1% da população, sendo que muitas das pessoas que a possuem passam a vida internadas, mas há exceções como no caso do matemático Jonh Nash, ganhador do prêmio Nobel de matemática, que teve este distúrbio logo em sua juventude.[28]

Por outro lado, no mal de Parkinson o cérebro do paciente perde a capacidade de produzir este neurotransmissor, porque os neurônios que o produzem morrem. Muitos estudos estão sendo realizados para tentar minimizar esta doença, um deles, verificou que a substância Dopa, que é um dos precursores da síntese deste neurotransmissor pode aliviar temporariamente os sintomas desta doença, no entanto, não podem eliminá-la.[4,11-12]

A noradrenalina está presente, principalmente, em neurônios que se localizam em um núcleo do tronco encefálico, que possuem funções diversas, pois seus axônios se comunicam com neurônios de outras partes do sistema nervoso central.[5-7]

Conforme discutimos, o tronco encefálico regula funções vitais, como a respiração, o estado de alerta consciente e a temperatura corporal, sendo que sua principal função é enviar informações do cérebro para a medula espinhal e cerebelo, e vice-versa. [5-7]

Quando sentimos uma emoção muito forte, tal como medo, raiva, tensão, ansiedade ou terror, podemos liberar adrenalina e noradrenalina. Inclusive, além de estes neurotransmissores serem liberados no cérebro, também são secretados por glândulas de secreção interna na corrente sanguínea, por isto também possuem a função de hormônios.[29]

Nas situações de stress tais como as citadas anteriormente, o corpo libera, principalmente, a adrenalina, que dentre outras funções, quebra o glicogênio em glicose, o que aumenta a quantidade de glicose no sangue, tornando-a mais disponível para suprir as necessidades do organismo. Além disso, ela aumenta o fluxo sanguíneo no cérebro e estimula a atividade cardíaca, por isto que o nosso coração começa a bater mais rápido.[29]

Por outro lado, os neurônios que liberam serotonina estão envolvidos com a regulação da atenção e com outras funções cognitivas complexas, além disso, ela tem fundamental importância e age sobre o comportamento emocional, a regulação do humor e do sono e está envolvida com a sensação de prazer. Algumas drogas como a cocaína, o LSD e outros alucinógenos interferem nas sinapses que liberam este neurotransmissor. Inclusive, em alguns distúrbios como a depressão, por exemplo, parece haver uma redução na ativação dos neurônios que o liberam, pois a maioria das drogas antidepressivas exercem seus principais efeitos nestas sinapses.[2-5]

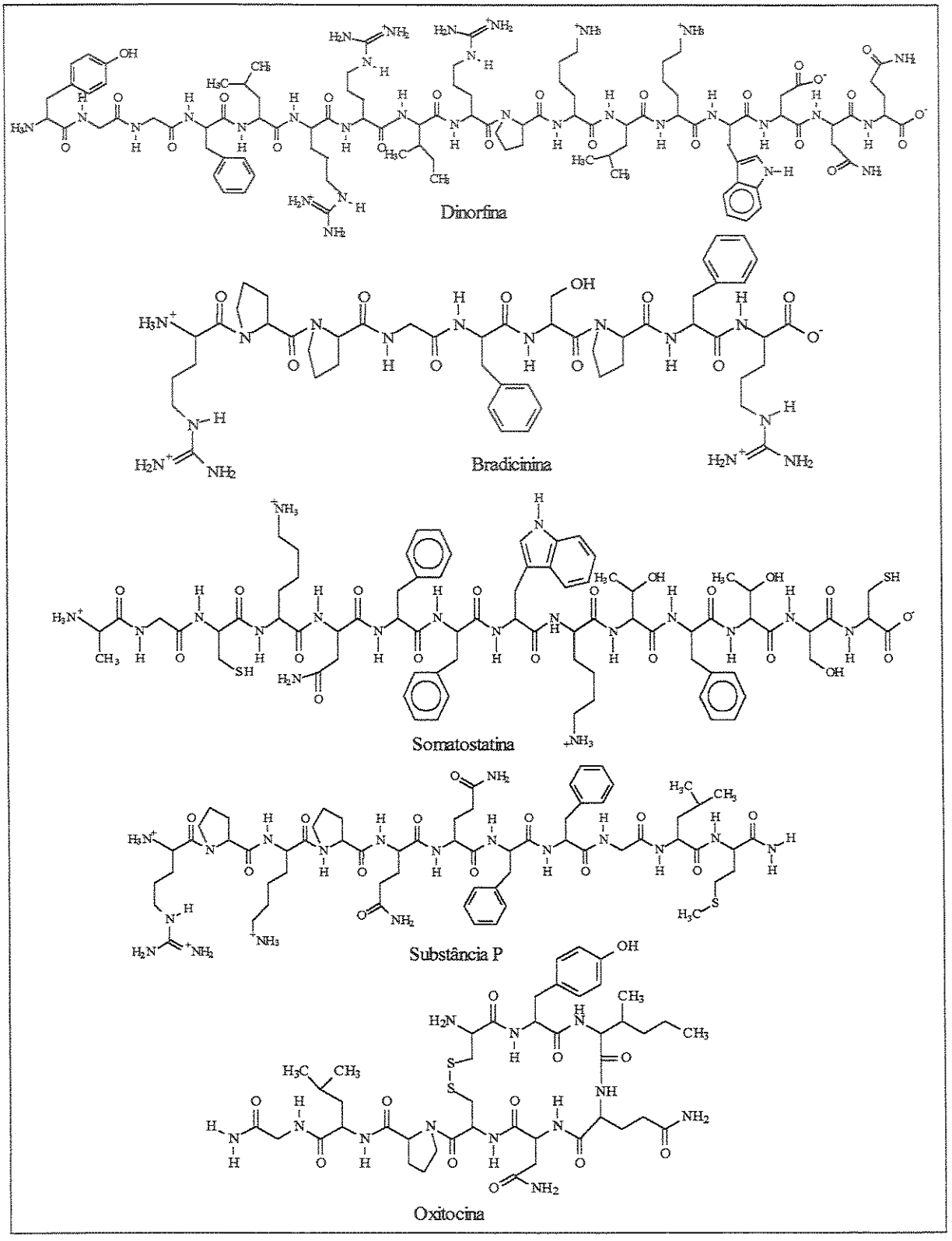
A histamina, por sua vez, exerce um importante papel nas reações alérgicas, pois além de agir como neurotransmissor também age como hormônio, ativando a reação inflamatória e controlando o músculo liso e as glândulas. No sistema nervoso central, ela está concentrada no hipotálamo, que por sua vez, regula o sistema nervoso vegetativo e a secreção de hormônios pela glândula hipófise. [4-7]

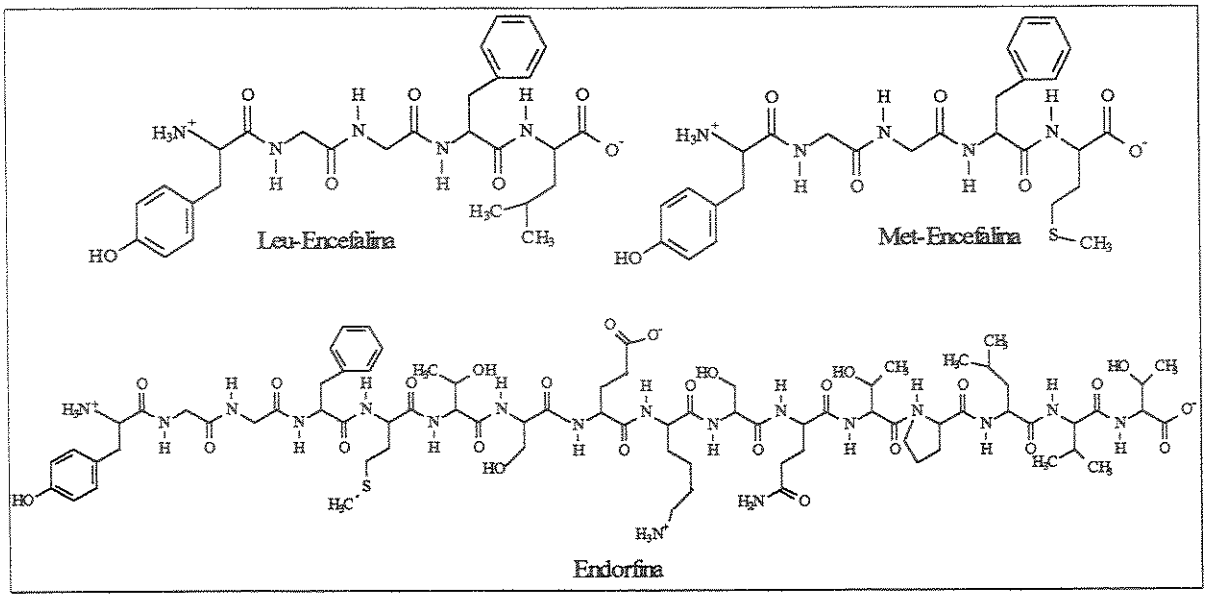
Recentemente foi identificado um outro neurotransmissor a anandamida (ácido araquidônico N-hidroxietil-amida) que é derivada do ácido araquidônico, um dos lipídios constituinte da membrana neuronal. Ainda não se conhece muito bem seu mecanismo e suas funções, mas sabe-se que o THC, o composto ativo da maconha, interage com seus receptores. O que se sabe é que ela age em áreas do sistema nervoso central envolvidas com a memória, com a analgesia, com a percepção da dor de cabeça, com o inconsciente, com os movimentos e com sensações emocionais.[30-34]

Dentre os neurotransmissores de aminoácidos podemos citar o glutamato e a glicina e o GABA (ácido- γ- aminobutírico). A glicina é, principalmente, secretada na medula espinhal, já o glutamato é secretado no córtex cerebral, além de alguns receptores sensoriais, como os fotorreceptores. O GABA é sintetizado na medula espinhal, no cerebelo e no córtex cerebral e parece estar envolvido com os sintomas da ansiedade, isto porque algumas drogas ansiolíticas, agem nos neurônios que liberam este neurotransmissor.[5-7]

Podemos citar muitos exemplos de neurotransmissores de peptídeos, dentre eles estão: a substância P, a oxitocina, a somatostatina, leu-encefalina, met-encefalina, α-endorfina e a bradicinina conforme as estruturas da figura **21**.[5-7,19]

Figura 21 – Estruturas de neurotransmissores de peptídeos.





Estes neurotransmissores de peptídeos também podem atuar como hormônios ou como neuromoduladores, por isto, exercem funções importantes no organismo, como por exemplo, a substância P, que atua transmitindo os sinais de dor a partir dos e na formação de sua percepção, já a endorfina, as encefalinas e a dinorfina, agem como analgésicos endógenos, diminuindo seus sintomas.[5-7]

As endorfinas e seus receptores estão amplamente distribuídos pelo corpo humano e eles contribuem não só para a modulação da dor, como também para uma variedade de outros fenômenos. Além de efeitos analgésicos, investiga-se que estas substâncias produzem sentimentos altamente prazerosos e de euforia.*

Como estas moléculas passam uma mensagem de um neurônio para outro? O que elas fazem? O que acontece no outro neurônio? O que são os receptores? Como funcionam? O que ocorre na comunicação química? Estas e outras questões serão discutidas na próxima parte do texto.

* Os neurotransmissores, suas ações, síntese e modo de funcionamento serão discutidos melhor nos textos: *"Sensações Emocionais e Drogas"* e *"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"*.

• Interação dos neurotransmissores com receptores – excitação e inibição

Já mencionamos que existem diferentes tipos de receptores para um mesmo neurotransmissor, o que pode levar a diferentes sensações. Cada parte do Sistema Nervoso Central é responsável por interpretar diferentes mensagens, ou seja, é responsável por regular diferentes funções e formar as diversas sensações, transformando-as em percepções. Podemos prever que em cada uma delas, os neurotransmissores podem gerar uma resposta diferente, pela interação com receptores diferentes.

Os neurotransmissores causam algum tipo de mudança na conformação do receptor; esta mudança é devida às interações como as forças de atração eletrostáticas que são resultantes da interação entre dipolos e/ou íons de cargas opostas, cuja magnitude depende diretamente da constante dielétrica do meio e da distância entre as cargas. No pH fisiológico, os aminoácidos presentes nos receptores se encontram ionizados, podendo interagir com substâncias que apresentem grupos carregados negativa ou positivamente.[35,36]

As forças eletrostáticas podem incluir dois tipos de interações tais como: íon-dipolo* e dipolo-dipolo**. Além disso, os neurotransmissores também podem interagir com os receptores através de forças de dispersão (de London ou interações de Van der Walls) que são a aproximação de moléculas apolares apresentando dipolos induzidos. Estes dipolos são resultado de uma flutuação local transiente de densidade eletrônica entre grupos apolares adjacentes, que não apresentam momento de dipolo permanente.[35,36]

Também existem as interações hidrofóbicas que ocorrem em função da interação em cadeias ou subunidades apolares. As cadeias ou subunidades hidrofóbicas, presentes tanto no sítio receptor como no ligante, encontram-se solvatadas por camadas de moléculas de água. A aproximação das superfícies hidrofóbicas promove o colapso da estrutura organizada da água, permitindo a interação ligante-receptor por causa do ganho de entropia devido à desorganização do sistema.[35,36] Por outro lado, os neurotransmissores também podem interagir com os receptores através de ligações de hidrogênio.***[19,35]

---

* Força resultante da interação de um íon e uma espécie neutra polarizável, com carga oposta aquela do íon.
** Interação entre dois grupos com polarizações de cargas opostas.
*** ver sabor

A interação entre a molécula e seu receptor também apresenta características tridimensionais dinâmicas. Dessa forma, o volume molecular do neurotransmissor, as distâncias interatômicas e o arranjo espacial dos seus grupos também compõem aspectos fundamentais.[35]

Mas, o que são os receptores? Como a informação consegue ser conduzida de um neurônio à outro?

Existem três tipos básicos de receptores: os canais iônicos, os acoplados a um tipo específico de proteína, denominado G, ou auto-receptores. Os canais iônicos que agem como receptores de neurotransmissores são similares aos outros canais já discutidos. O poro deste tipo de canal está fechado quando o neurotransmissor não está presente, porém quando ele é liberado, interage com sítios específicos localizados no lado de fora do canal, o que faz com que ele seja aberto, e conseqüentemente os íons para o qual o canal é específico, podem atravessá-lo. No entanto, estes canais não são tão seletivos como os que discutimos anteriormente.[5-7]

Quando canais seletivos aos íons sódio são abertos, estes entram no neurônio, assim a membrana do neurônio onde está localizado este receptor, fica com o interior positivo em relação ao exterior e, portanto, o neurônio fica mais propício a gerar um potencial de ação. Este efeito é chamado de excitatório e, em geral, é causado por neurotransmissores como a acetilcolina, o glutamato, a adrenalina, a noradrenalina e a serotonina, dependendo da parte do sistema nervoso e do tipo de receptor envolvido.[5-7]

Por outro lado, neurotransmissores como GABA e glicina, geralmente, produzem um efeito contrário, pois ativam os canais iônicos seletivos aos íons Cl^-. Como o cloreto está mais concentrado fora do neurônio, com a abertura destes canais, os íons cloreto entram e o interior do neurônio fica ainda mais negativo em relação ao seu exterior. Portanto, é menos provável que o neurônio gere um potencial de ação, por isto chamamos este efeito de inibitório.[5-7]

Dependendo de qual canal iônico o neurotransmissor irá abrir, o efeito será inibitório ou excitatório. Pois, além da natureza do neurotransmissor é importante lembrarmos que é a sua interação com o receptor que provocará o efeito. Assim, um mesmo neurotransmissor pode causar excitação em uma parte do sistema nervoso, mas pode causar inibição em outra. Ou ainda, um mesmo neurônio pode ser excitado por um

neurotransmissor e inibido por outro. A combinação dos vários efeitos de inibição e de excitação, a partir das várias sinapses que um único neurônio compartilha, é que faz com que este neurônio gere ou não um potencial de ação.

Além de se ligar diretamente aos canais iônicos, os neurotransmissores também podem se ligar a receptores acoplados à proteína G, ativando-a. Esta proteína desencadeia uma série de reações envolvendo outros mensageiros, o que pode ativar canais iônicos e podemos imaginar que no final, a conseqüência é a mesma, ou seja, a membrana do neurônio é despolarizada ou hiperpolarizada.[5,7]

Por outro lado, um neurotransmissor também pode ativar um receptor localizado no mesmo neurônio que o sintetizou. Chamamos este tipo de receptor de auto-receptor, quando estes receptores são utilizados podemos ter um efeito da inibição da liberação de mais neurotransmissores e em certos casos, a inibição da sua síntese. Estes auto-receptores parecem funcionar para reduzir a liberação de neurotransmissores quando sua concentração atinge um valor muito alto.[7]

Quando um neurotransmissor é liberado na sinapse, quase que instantaneamente, liga-se aos seus receptores, que se forem de canais iônicos, abrem-se por apenas um ou dois milissegundos aproximadamente, que é o tempo suficiente para causar a excitação ou a inibição. Por outro lado, quando os neurotransmissores se ligam a receptores que envolvem a proteína G, seu tempo de ação é maior, podendo chegar a minutos ou até mesmo horas, dependendo da parte do sistema nervoso envolvida.[5-7]

Após o período de ação do neurotransmissor com o receptor, ele é removido, para ocorrer um novo ciclo de comunicação química. Existem algumas formas de remover este neurotransmissor e uma delas é a recaptação para dentro do neurônio que o sintetizou, o que ocorre através de transportadores específicos que estão presentes na membrana do terminal pré-sináptico. Quando entra novamente no neurônio, ele pode ser degradado ou utilizado novamente. Uma outra maneira de terminar a ação do neurotransmissor é pela degradação enzimática que ocorre na própria sinapse. A enzima monoaminoxidase degrada os neurotransmissores de amina como a serotonina, adrenalina, noradrenalina e dopamina. Esta remoção do neurotransmissor do seu receptor é muito importante, pois quando não são receptados eles continuam agindo.[5-7]

Pode-se observar que os neurônios, quando recebem estímulos vindos de diferentes partes do sistema nervoso, têm mudanças de potencial nas suas membranas. Se a integração destas mudanças de potencial for despolarizante, o neurônio pode gerar um potencial de ação, que, então, é conduzido ao longo do axônio e quando chega ao seu final, faz com que outros neurotransmissores sejam liberados. Depois de liberados, eles interagem com os receptores localizados em outros neurônios e a seguir são removidos do receptor para que outra transmissão ocorra. Esta comunicação ocorre todas as vezes que temos uma sensação, seja ela qual for!

Neste texto discutimos que é a integração da atividade dos neurônios das diversas partes do sistema nervoso que faz com que tenhamos percepções diversas do mundo. As sensações são a porta de entrada do mundo exterior para o nosso cérebro, é a partir delas que são formadas as percepções, os pensamentos, os comportamentos e tudo que existe em nossas vidas.

Atualmente, muitas investigações têm sido feitas na área das neurociências, em algumas há a tentativa de melhorar a atividade cerebral, em outra apenas entendê-la, além de outras para achar curas para determinadas patologias causadas por lesões cerebrais. Talvez, num futuro não muito distante, existam leitores da mente, que sejam utilizados como detectores de mentira, pílulas da inteligência, que melhorem a função cerebral e que sejam úteis para pessoas que possuem doença de Alzheimer, de Parkinson, demência, falta de memória, bem como outras deficiências. Também pode haver uma forma de estimular o cérebro, "curando" certas deficiências sensoriais como a surdez ou cegueira cerebral.[37,38]

• Considerações finais

Para elaborar este capítulo fizemos uma revisão da literatura recente sobre o funcionamento do sistema nervoso. Nossa principal contribuição foi resumir e organizar os diversos conceitos que são explorados nos livros e artigos específicos sobre este tema. Nos outros textos, discutimos que os receptores sensoriais se comunicam com neurônios, que conduzem a informação ao encéfalo, onde serão processadas, portanto, neste capítulo houve, então, uma integração entre todos apresentados. Além disso, ele é importante para entender os capítulos subseqüentes.

Para abordar o funcionamento de um neurônio utilizamos conceitos da neurologia e de fisiologia, interligados com os da química. Dentre conceitos os químicos estão: diferença de potencial, eletroquímica, equação de Nernst, solvatação, solubilidade, diferença de concentração, difusão, síntese de moléculas orgânicas e interações moleculares. Por isto, este texto pode ser utilizado em aulas de bioquímica, química analítica e orgânica.

CAPÍTULO 8

"Dor: Sensação Boa ou Ruim?"

Alma que sofres pavorosamente
A dor de seres privilegiada
Abandona o teu pranto, sê contente
Antes que o horror da solidão te invada.
Deixa que a vida te possua ardente
Ó alma supremamente desgraçada.
Abandona, águia, a inóspita morada
Vem rastejar no chão como a serpente.
De que te vale o espaço se te cansa?
Quanto mais sobes mais o espaço avança...
Desce ao chão, águia audaz, que a noite é fria.
Volta, ó alma, ao lugar de onde partiste
O mundo é bom, o espaço é muito triste...
Talvez tu possas ser feliz um dia.
Vinicius de Moraes[1]

O que acontece quando nos machucamos? E quando fraturamos um osso ou quando estamos sofrendo? Sentimos dor! Sabemos que existem vários tipos de dor: de cabeça, nas costas, de estômago, de um machucado, de tristeza, de amor... Existem pessoas que adoram senti-la, que conhecem tudo sobre ela, todos os remédios, todos os chás, todas as receitas para curá-la. Também existem pessoas que inventam algum tipo de dor, para se sentirem mais amadas, mais cuidadas ou mais protegidas. Por outro lado, outras a escondem, camuflam a própria dor, para não se sentir fracas.

A dor pode ser real, mas também pode ser imaginária! Pode ser física, mas também pode ser psicológica! Pode deixar a pessoa exposta, mas também pode fazer com que as outras pessoas a protejam!

Ela está presente na vida da maioria das pessoas e, freqüentemente, está ligada às sensações físicas desagradáveis, mas também está relacionada às emoções, às perdas, às saudades, aos medos! Inclusive, uma pesquisa recente[2] mostrou que quando somos rejeitados socialmente, como por exemplo, quando não somos convidados para uma festa, ou quando "levamos um fora", são ativados os mesmo circuitos no cérebro que processam um incomodo de uma dor física, como a de uma dor nas costas. Mas, isto não quer dizer que as duas sensações sejam iguais, pois sabemos que são tipos de dores diferentes!

Mas então, é realmente doloroso não ser chamado para uma festa, não ser amado, não ser querido! Da mesma forma, isto explica porque ao sermos acolhidos quando sentirmos dor, ela diminui. Por exemplo, uma criança, quando se machuca e começa a chorar, mostrando seu machucado para todo mundo, ao receber o beijinho da mãe ou escutar a famosa frase "quando casar sara", realmente tem sua dor diminuída. Igualmente, quando uma pessoa experimenta algum tipo de separação social por perda ou rejeição, pode ficar mais sensível ou incomodada por dores no corpo.[2]

Portanto, existe tudo quanto é tipo de dor e muitas formas de minimizar esta sensação, que, em geral, é vista como desagradável! Ela está relacionada com a cultura! Tanto que algumas pessoas têm uma tolerância bem maior a ela. Por exemplo, existem determinadas experiências onde a pessoa anda sobre a chama, ou deita em uma cama de pregos e diz que não sente dor. Ou algumas pessoas, depois de sofrer um grave acidente, relatam que no momento não sentiram alguma dor. Ou ainda, quantas vezes temos um certo machucado que só dói quando damos atenção a ele ou "quando o corpo esfria"? Estas coisas acontecem porque podemos controlar a dor!

A dor é influenciada por diversos fatores! Por exemplo, um simples exame de sangue pode ser doloroso para algumas pessoas, mas pode não ser para outras, a menos que vejam a agulha ou o sangue, pois daí começam a senti-la. Isto porque ao ver o sangue, a pessoa o associa à sensação de dor, pois muitas vezes, durante sua vida, teve machucados sangrentos e, nesta ocasião, sentiram dor.

Apesar de ser, aparentemente, ruim, é muito conveniente sentir dor. Quando ela é física, é um aviso de que algo está errado no organismo, de que a pessoa precisa parar de fazer algo, ou precisa cuidar melhor de uma determinada parte do corpo. Ela avisa que um tecido do organismo está lesionado, ou está em risco de sofrer lesões, avisa quando tem algum organismo estranho no corpo e que ele precisa expulsá-lo, avisa que a temperatura do ambiente está alta ou baixa demais e que queimaduras podem ocorrer.[3-5]

É muito importante sentir dor, pois ela é sinalizadora, desencadeia reflexos de retirada do corpo ou de parte dele para longe de estímulos nocivos, e também nos induz a manter em repouso uma parte lesionada. Ela marca os limites do organismo! A dor é vital! Tanto que pessoas que por alguma razão nascem sem a capacidade de sentir dor, não vivem por muito tempo, pois não sentem quando estão em contato com algo perigoso.[3]

Todos nós sabemos que sentimos dor quando algum tecido do corpo é lesionado, ou seja, quando alguma parte do corpo está cortada, irritada, inflamada, quando algum osso está fraturado, ou até mesmo quando permanecemos muito tempo numa mesma posição. Também sabemos que podemos sentir dor quando fazemos muito exercício físico, quando algum agente estranho invade o organismo, ou quando a temperatura do ambiente está alta ou baixa demais (maior que 45°C ou menor que 10°C). Isto ocorre porque, nestes casos, os receptores para dor, chamados de nociceptores, são ativados.[3-5]

Os nociceptores fazem parte do sistema nervoso somático, aquele que possui nervos espalhados por todo o corpo, por isto, quando detectam um estímulo enviam mensagens aos neurônios da medula espinhal, que como está se comunicando com o encéfalo, enviam mensagens para ele. Na realidade estas mensagens chegam até os neurônios de uma pequena região do cérebro chamada de tálamo, cujos neurônios fazem conexões com muitas outras áreas, formando, desta forma, a percepção de dor.[3-5]

Os neurônios do tálamo se comunicam com o sistema límbico, que regula as emoções, e é por isto que as sensações emocionais estão tão envolvidas com a dor. Além disso, a percepção da dor também está envolvida com a memória e com a personalidade da pessoa. Desta forma, algumas pessoas podem percebê-la mais do que outras.[3-6]

Por outro lado, ela pode ser causada mesmo quando não há ativação de nociceptores! É o caso das dores de origem psicológica! Mas, isto não significa que elas não sejam reais; elas o são e, realmente, sentimos dor mesmo quando nenhum tecido foi lesionado! Para sentirmos este tipo de dor o próprio encéfalo, de acordo com as condições cognitivas e psicológicas da pessoa, pode gerá-la. Como não há um estímulo físico, neste caso não temos a sensação de dor, mas uma percepção.[2-5]

Pode ocorrer também de algum tecido estar sendo lesionado, mas a pessoa não sentir dor, como ocorre com atletas, soldados, ou no momento de um acidente grave. Nestas ocasiões, os nociceptores podem estar sendo ativados, ou seja, eles estão enviando mensagens para o cérebro avisando que existem tecidos lesionados, o que geraria a sensação de dor. Como a dor depende do contexto psicológico e social, sua intensidade pode diminuir, quando o encéfalo libera determinadas substâncias como a endorfina, as encefalinas e a dinorfina, ou pode aumentar se a pessoa dá muita atenção a ela. Assim como outras percepções, a dor não é um resultado automático da estimulação de receptores, mas é

influenciada pela expectativa, personalidade, humor, pensamento, dentre outros processos mentais.[3-6]

Uma prova de que o próprio encéfalo secreta substâncias que inibem a dor é o efeito placebo. Um placebo é uma substância que não tem poder de curar uma lesão ou de diminuir a dor. Muitas pesquisas para testar a eficiência de certos analgésicos, utilizam um placebo nos testes. Desta forma, algumas pessoas ingerem o analgésico, enquanto outras ingerem o placebo, mas acreditam ter ingerido o analgésico. O resultado de muitas destas pesquisas é que tanto as pessoas que ingerem o placebo, quanto as que ingerem o analgésico têm sua dor diminuída. O que isto quer dizer? Será que a pessoa inventou a dor? Ou será que ela consegue curá-la de alguma forma? Talvez o fato de ela acreditar que sua dor irá diminuir com o remédio, ter uma expectativa de cura, já seja o suficiente para ativar no cérebro os neurônios que liberam neurotransmissores que atuam como analgésicos endógenos.[3,7]

Já foram feitas muitas pesquisas no mundo a respeito do efeito placebo. Muitas delas mostraram que a chave para o efeito placebo se manifestar está na relação entre o paciente e o médico. Assim, quanto mais tempo o médico se dedicar ao paciente e se mostrar interessado em ajudá-lo, maiores as chances de ocorrer a cura através do placebo. Além disso, a afetividade do médico, tal como a de outras pessoas, potencializa o efeito placebo nos pacientes.[7]

Outros trabalhos confirmaram que a confiança do paciente para com o médico também era muito importante para que o efeito placebo se manifeste. Em uma pesquisa clássica feita no Japão em 1962 foi pesquisado o efeito placebo em 13 estudantes alérgicos à uma planta chamada de hera venenosa. Os estudantes foram vendados e em seus braços foi esfregada uma planta não-tóxica, mas os pesquisadores disseram que se tratava da hera, e verificou-se que 12 estudantes manifestaram uma reação inflamatória. Depois os cientistas esfregaram a própria hera dizendo que se tratava de uma planta não tóxica, e somente dois alunos mostraram sinais de alergia.[7]

Recentemente, testou-se o efeito placebo em cirurgia. Em 1994 pesquisadores da Universidade do Texas fizeram estudos da cura da osteoartrite de joelho usando cirurgia placebo. Neste caso, alguns pacientes tinham o joelho aberto, mas a cirurgia não era completada. O estudo envolveu 10 pacientes e mostrou que tanto quem foi realmente

operado quanto os que passaram pelo procedimento placebo tiveram o mesmo índice de recuperação. A seguir foi feito um estudo maior, com 180 voluntários, cujos resultados, divulgados em julho de 2002, foram idênticos.[7]

Então, será que os remédios realmente funcionam? Será que as terapias alternativas têm alguma fundamentação científica, tais como as terapias alopáticas? Será que conseguimos curar nossas doenças? Será que conseguimos criar nossas doenças? Será que existem "problemas da vida" fora de nosso cérebro?

Podemos, então, perceber que existem várias questões envolvidas com a dor... Muitas vezes, a dor não existe fora do cérebro! Mas, muitas outras vezes, existem estímulos que ativam os nociceptores. Quando isto acontece podemos sentir, principalmente, dois tipos de dor: a lenta e a rápida. O que as diferencia?

A dor rápida somente permanece quando o estímulo está presente, já a lenta dura por algum tempo, mesmo depois da retirada do estímulo. É a dor lenta, que está envolvida com as emoções e com o aspecto cognitivo da pessoa, é ela que causa o sofrimento, até mesmo outras reações corporais como suor, alterações dos batimentos cardíacos e mal-estar.[3-5, 8]

Assim, por exemplo, quando se leva um beliscão, a região da pele beliscada dói durante o beliscão, devido à presença do estímulo. Se o estímulo for forte o suficiente para lesar as células da pele, ela pode continuar, mesmo sem a presença do estímulo, esta é a dor lenta.

Entender todos os tipos de dor é algo muito complicado, pois, como já mencionamos, existem aquelas dores que não são causadas por estímulos, como a psicológica e/ou a cognitiva. No entanto, entender o que ocorre no organismo quando algum órgão está sendo lesionado, ou como o cérebro controla a dor, já é algo mais simples. Então, discutiremos a seguir o que acontece no organismo quando os nociceptores são ativados.

- **Sensação de dor**

O que são os nociceptores? Como eles são ativados? Como enviam mensagens para o encéfalo? Quais são as moléculas que estão envolvidas com os sinais da dor?

Em geral, quando alguma parte do corpo está lesionada, os nociceptores são ativados e, conseqüentemente, como eles enviam mensagens para o cérebro avisando que isto está ocorrendo, podemos ter uma sensação de dor. Estes estímulos lesivos podem ser térmicos, químicos ou mecânicos. Desta maneira, podemos sentir dor quando a temperatura externa está muito alta, acima de 45°C, e os nossos tecidos corporais começam a queimar. Também podemos senti-la quando fazemos exercícios físicos intensos, quando somos picados por algum inseto, quando fraturamos um osso, quando levamos um tapa, dentre outras situações. Porém, em todos os casos, o estímulo tem que ser suficientemente intenso para lesionar tecidos e ativar os nociceptores.[3-5] Eles estão espalhados pela pele, mas que também estão presentes em ossos, músculos, nos órgãos internos e nos vasos sanguíneos. No entanto, estão ausentes no encéfalo.[3]

As dores que sentimos quando alguma parte do corpo está machucada é um tipo de dor lenta. Como, em geral, na dor lenta de origem física há o rompimento de tecidos, várias substâncias são liberadas pelas células lesadas no local da dor. Estas substâncias interagem com os nociceptores que avisam o encéfalo que aquele tecido foi lesionado. Dentre elas podemos citar: as prostaglandinas, a substância P e a bradicinina*.[3-5]

Como estas substâncias agem? Existe alguma diferença na sensação de dor se no local forem liberadas substâncias diferentes? Como os nociceptores reconhecem estas moléculas?

A bradicinina, por exemplo, difunde-se na área da lesão e é uma das substâncias responsáveis pela formação do edema; por isto, quando a pele é lesionada, geralmente, fica inchada. Além disso, ela também é responsável por sensibilizar os nociceptores, que enviam as mensagens para o encéfalo, causando a sensação de dor. A substância P, por sua vez, é uma das responsáveis pelos efeitos da dilatação dos vasos sanguíneos, o que causa a

---

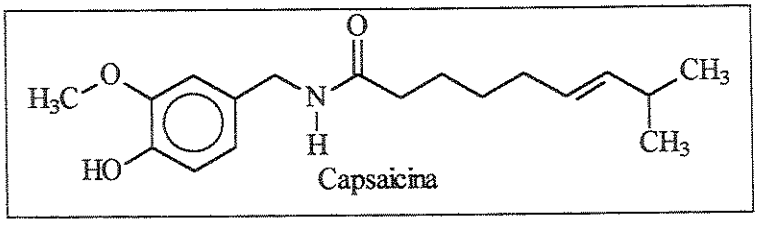
* Ver as estruturas da substância P e da bradicinina em *"Neuroquímica e Sensações"*, página 195.

vermelhidão do local lesado, e também o inchaço do local, isto porque induz a liberação de histamina* a partir dos mastócitos**.[3-5]

A histamina, por sua vez, liga-se a determinados receptores localizados nos nociceptores, o que também aumenta a permeabilidade dos capilares sanguíneos, causando o edema e a vermelhidão. Isto acontece toda vez que alguma substância estranha entre no organismo, como no caso de uma picada de algum inseto.[3] Sabemos que uma simples picada de uma abelha, de uma formiga, de um borrachudo, causa dor, inchaço e vermelhidão no local, devido à liberação da histamina. Isto é muito importante, para o organismo conseguir eliminar o veneno, pois sabemos que picadas de outros animais, como de determinadas cobras ou escorpião, podem nos matar!

Por que quando comemos uma comida apimentada sentimos uma enorme ardência? Por que quando a quantidade de pimenta é muito grande, sentimos uma analgesia? Isto pode ocorrer porque a substância P também pode ser liberada pela capsaicina, cuja estrutura está na figura 1, um dos componentes das pimentas verdes, vermelhas e da páprica.[7]

Figura 1- Estrutura da capsaicina.



Capsaicina

Quando consumimos este tipo de alimentos ocorre a liberação da substância P nos nociceptores da boca, o que induz à sensação de dor ou de ardência. No entanto, se grandes quantidades de pimenta forem consumidas, o alimento causa uma sensação de analgesia; parece que a boca fica meio paralisada e, isto ocorre porque há um esgotamento da substância P. Como conseqüência, não há nenhuma molécula para avisar os nociceptores e causar a sensação de dor.[3,7]

---

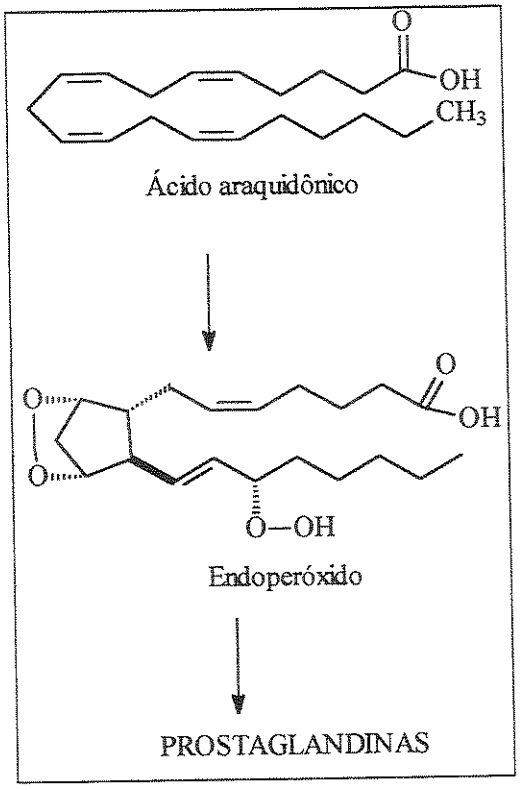
* A estrutura da histamina está no texto *"Neuroquímica e Sensações"*, página 192.

** Os mastócitos são células que compõem o sistema imunológico, ou seja, são responsáveis por defender o organismo de substâncias estranhas a ele. Quando o organismo é agredido por alguma substância estranha, os nociceptores sintetizam e liberam a substância P, que induz a secreção de histamina.

Outras substâncias que podem ser liberadas pelos nociceptores ou pelas células lesadas no local da dor são as prostaglandinas.* Mas, quais são estas substâncias? Como são sintetizadas? O que elas fazem?

As membranas celulares são feitas de uma bicamada fosfolipídica**, sendo que dentre os ácidos graxos que as constituem está o ácido araquidônico. Quando há uma lesão, muitas membranas são rompidas, principalmente, nos períodos mais prolongados da dor e quando há inflamação. Nestas situações as prostaglandinas são sintetizadas a partir do ácido araquidônico que é altamente reativo e rapidamente transformado pela enzima ciclooxigenase em ácidos graxos cíclicos denominados de endoperóxidos, que são compostos instáveis e que, através de uma cascata de reações, formam as prostaglandinas, tal como ilustrado na figura 2.[9-13]

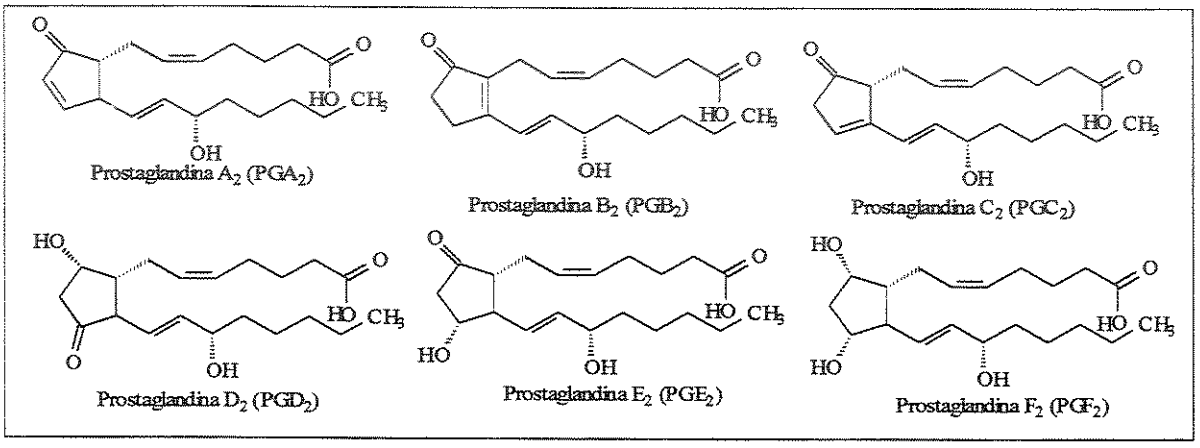
Figura 2 – Esquema de síntese das prostaglandinas.



* Ver *"Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"*, página 129.
** Ver *"Neuroquímica e Sensações"*, páginas 178 e 179.

As prostaglandinas são ácidos graxos insaturados de 20 átomos de carbonos, que contém um anel de cinco membros e duas cadeias laterais. Uma cadeia lateral possui sete carbonos com o grupo ácido carboxílico (*-COOH*) terminal. A outra cadeia contém oito átomos de carbono, com um grupo hidroxila no terceiro carbono a partir do anel. Podem ser divididas em séries, denominadas de **A** até **F**, além disso, suas estruturas também variam conforme a posição da ligação dupla, sendo classificadas também por números. As estruturas de algumas destas substâncias estão ilustradas na figura **3**.[11-14]

Figura 3- Ilustração das prostaglandinas.



Elas não desencadeiam diretamente a dor, mas aumentam a sensibilidade dos nociceptores a outros estímulos. E, se não fosse mais possível sintetizá-las, ainda sentiríamos dor? Não! Inclusive, muitas drogas atuam na inibição de suas sínteses, portanto agem inibindo as sensações de dor! Como as prostaglandinas também estão envolvidas com a inflamação e a febre, os fármacos que conseguem inibir sua síntese são utilizados como anti-inflamatórios e anti-piréticos.[3]

As prostaglandinas também estão envolvidas em muitos outros processos do organismo, não só nos sinais de dor, da febre e da inflamação. Além disso, nos só nascemos e estamos vivos por causa destas moléculas! Isto porque elas também estimulam a contração dos músculos lisos, principalmente, dos músculos do útero durante o trabalho de parto ou durante a menstruação. Estas moléculas também afetam o fluxo sanguíneo para

órgãos específicos, o ciclo da vigília e sono, elevam a temperatura corporal, produzindo febre e provocando a inflamação, resultando na sensação de dor.[10-14]

Elas estão envolvidas nas defesas naturais do corpo contra todas as formas de mudança, incluindo as induzidas por estímulos químicos, mecânicos, fisiológicos e patológicos. Devido a todas estas funções, as prostaglandinas têm sido usadas como fármacos para tratar hipertensão, eliminar bronquite asmática, curar úlceras e induzir o trabalho de parto, mas como possuem esta propriedade também podem ser utilizadas para provocar abortos.[10-14]

Sabemos que a ativação dos nociceptores e a liberação destas substâncias são apenas o começo do processo de dor, mas que, assim, como qualquer outra sensação, ela deve ser decodificada e interpretada pelos neurônios do cérebro e é isto que explicaremos brevemente na próxima parte do texto.

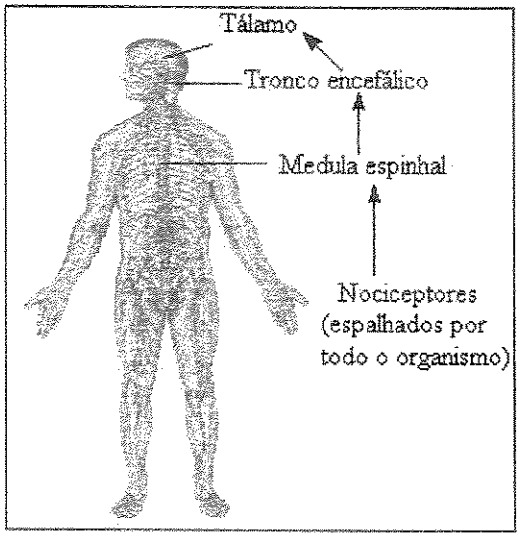
• Dor e Sistema Nervoso Central

Quando os nociceptores são estimulados eles informam aos neurônios da medula espinhal que uma lesão está ocorrendo e em que parte do corpo ela está ocorrendo. Estes neurônios, por sua vez transmitem a informação para o tronco encefálico e de lá para uma região do cérebro chamada de tálamo, conforme ilustrado na figura **4**.[3,4]

Os neurônios do tálamo se comunicam com os de outras partes do encéfalo incluindo os responsáveis pela emoção, pela consciência e pelo alerta, por isto a dor lenta pode ter várias interpretações, dependo da pessoa e do contexto em que ela se encontra. Além disso, estes neurônios também se comunicam com os do hipotálamo, que controlam as glândulas que secretam os hormônios, o que pode desencadear diferentes comportamentos do corpo perante a dor.[3-5]

Assim, quando a dor é muito intensa e dependo do contexto emocional, o hipotálamo pode comandar reações do sistema nervoso vegetativo simpático e Parassimpático para desencadear reações como produção de suor, aumento dos batimentos cardíacos, contração ou dilatação dos vasos sanguíneos entre outras.[3,4]

Figura 4 – Esquema que ilustra as vias da condução de informação da dor.



Já mencionamos que algumas vezes a dor ocorre sem a estimulação do nociceptor, mas que nestes casos os circuitos cerebrais que são ativados são os mesmo para quando a dor é física.[2] No entanto, é muito estranho o fato de que algumas pessoas que tiveram um determinado membro amputado, relatarem que ainda sentem dor neste membro, como se ele ainda estivesse presente. O que será que está acontecendo nestes casos?

É impossível que esta dor seja causada pela ativação dos nociceptores, já que eles não existem mais; porém, os outros neurônios envolvidos na transmissão da dor estão intactos e podem ser estimulados, como resultado a pessoa sente uma dor fantasma, num membro que já nem existe mais. Isto também é possível, porque, neste caso, o encéfalo cria a dor![3,4]

Além disso, existem muitos relatos de soldados, atletas, vítimas de tortura e de acidentes graves, que sofreram ferimentos terríveis, mas que no momento da lesão, aparentemente não sentiram dor. Isto porque para inibir a sensação de dor, o encéfalo libera determinados neurotransmissores como a endorfina, a dinorfina e as encefalinas*, que atuam como analgésicos endógenos.[3-6]

Estes neurotransmissores são também liberados quando a pessoa sente prazer, como por exemplo, após passar por um estresse. Muitas pessoas gostam de esportes radicais ou

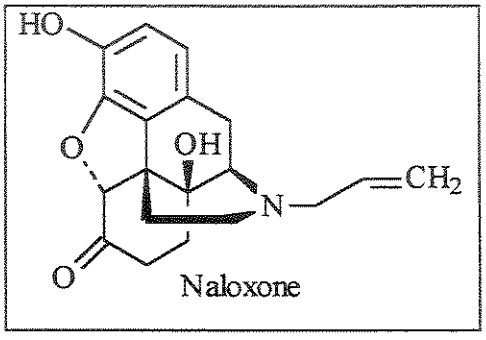
---

* Ver estruturas em *"Neuroquímica e Sensações"*, página.

filmes de terror, mesmo sabendo que sentirão medo. Isto porque o medo também dá prazer! A sensação de prazer, alívio e euforia que se tem após sentir um medo intenso, bem como, o prazer desencadeado por outros estímulos, é devida a liberação destes neurotransmissores.[6,15]

Os receptores, que são proteínas, com os quais a endorfina, as encefalinas e dinorfina interagem são denominados receptores de opióides. Isto porque os derivados do ópio, tais como a morfina e a codeína, também são capazes de interagir com eles, diminuindo assim a sensação de dor. A ação de opióides e dos analgésicos endógenos pode ser bloqueada pelo naloxone, mostrado na figura **5**.[16]

Figura 5- Estrutura do naloxone.



O naloxone é importante para testar o efeito placebo! Quando uma pessoa ingere uma substância achando que está ingerindo um analgésico, e na verdade não está, e passa a não sentir mais dor, muitas vezes, o sistema de analgesia endógeno é estimulado, ou seja, a dor é inibida pelos próprios neurotransmissores secretados pelos neurônios das diversas partes do sistema nervoso central.

Como o naloxone bloqueia o receptor para estes neurotransmissores, tornando-o inativo, após dar a uma pessoa uma substância que ela acreditava ser um analgésico, sua dor é inibida pelos analgésicos endógenos. Se esta pessoa ingerir o naloxone, sua dor voltará, o que leva à conclusão que o placebo ativa os próprios neurotransmissores endógenos.[3]

O sistema de analgesia endógeno é muito importante e é controlado por diversas áreas do encéfalo envolvidas com a formação da percepção de dor. Desta forma, muitas

vezes a razão e a emoção se combinam para modular a dor que sentimos. Por outro lado, muitas vezes elas se combinam para criá-la!

Recentemente, investigando-se a ação de outros neurotransmissores, foi identificada a anandamida. Este neurotransmissor, assim como as prostaglandinas, é derivado do ácido araquidônico, um dos lipídios constituinte da membrana neuronal*.[17-19]

Ainda não se conhece muito bem a ação desta substância, mas acredita-se que ela esteja envolvida com a analgesia, com a percepção da dor, com o inconsciente e com sensações emocionais. Talvez estas substâncias, assim como os neurotransmissores de peptídeos também seja uma das responsáveis pelo controle da percepção da dor.[17-19]

Podemos perceber que a dor pode ser inibida pelo próprio cérebro pelos analgésicos endógenos, mas sabemos que algumas vezes, quando ela é muito intensa e incomoda, é necessário utilizar outros analgésicos para aliviá-la. Além disso, antes de cirurgias é necessário utilizar anestésicos, para que o paciente não a sinta.

Então, o que são os analgésicos? O que são anestésicos? Qual a diferença entre estes compostos? Como eles atuam? Como a aspirina consegue agir exatamente no local da dor? Por que quando a dor é muito forte, ou melhor, quando a lesão é muito intensa é necessário utilizar analgésicos mais potentes? Por que antes de cirurgias utiliza-se anestésicos e não analgésicos? Estas e outras questões serão discutidas em seguida.

• Analgésicos e anestésicos

Os analgésicos são drogas utilizadas para diminuir ou suprir a sensação de dor. Basicamente, eles agem de duas maneiras: ligando-se aos receptores para endorfina, dinorfina e encefalinas, ou inibindo a síntese de prostaglandinas.[20]

Desta forma, os analgésicos que agem no encéfalo possuem uma ação geral, mas muitas vezes produzem efeitos colaterais, tais como dependência e modificação do humor. Já os que inibem a síntese das prostaglandinas não produzem estes efeitos, mas possuem ação local, pois estas substâncias são sintetizadas somente no tecido lesionado. Como as prostaglandinas também estão envolvidas com a febre e com as inflamações, estes analgésicos também podem atuar como antiinflamatórios e antipiréticos.[20]

---

* Ver estruturas em *"Neuroquímica e Sensações"*, páginas 194.

Por outro lado, as substâncias usadas como anestésicos inibem todas as sensações. Normalmente, eles são utilizados antes de cirurgias, podendo agir bloqueando as sensações de apenas alguma parte do corpo, tais como os anestésicos locais, ou bloqueando as sensações do corpo todo, tais como os anestésicos gerais.[21] Para facilitar a compreensão, dividiremos estas substâncias de acordo com seu modo de ação.

1. Analgésicos de ação geral

Dentre os analgésicos de ação geral, podemos citar os alcalóides derivados do ópio. O ópio é um látex obtido dos frutos imaturos de várias espécies de papoula (*Papaver sonmiferum*), que está ilustrada na figura 6. O consumo do ópio é muito difundido no oriente, principalmente na China, onde existem locais próprios para seu consumo. Ele foi até motivo declarado de guerra: a do ópio que ocorreu entre a China e a Inglaterra, em 1840.[12,22]

Figura 6 – Papoula do ópio de onde são obtidos os alcalóides morfina e codeína.

O que será que existe nesta planta para ela ser tão consumida no mundo todo e ainda ser utilizada como analgésico? A morfina e a codeína são os principais alcalóides do ópio! Mas, o que são alcalóides?

Os alcalóides podem ser definidos como bases nitrogenadas extraídas de cascas, folhas, grãos ou frutos vegetais. Os átomos de nitrogênio da maior parte dos alcalóides estão em anéis heterocíclicos, mas podem estar na forma de aminas primárias ou como

grupo de amônio quaternário. Quando um alcalóide é sintetizado a partir de aminoácidos e contém pelo menos um átomo de nitrogênio em um anel heterocíclico, que se apresenta na forma de sal (sais orgânicos ou N-óxidos), como a morfina e a codeína, é chamado de verdadeiro. No entanto, muitos alcalóides são aminas simples derivadas de aminoácidos onde o nitrogênio não se encontra num heterocíclo, mas possuem propriedades básicas, estes são chamados de protoalcalóides. Por outro lado, ainda existem os pseudoalcalóides, que são substâncias básicas, mas que não são derivadas de aminoácidos, alguns estão combinados com açúcares e outros ocorrem como ésteres ou amidas.[23-25]

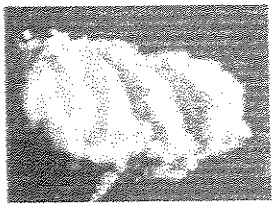
A morfina e a codeína são exemplos de alcalóides usados como analgésicos, para aliviar as dores e proporcionar a sensação de bem-estar; assim como os demais opiáceos, geram grande dependência física e psíquica. A morfina é absorvida pela mucosa intestinal, passando assim para a corrente sangüínea e, como conseqüência, atinge o cérebro, onde, age no tálamo interagindo com receptores dos neurotransmissores endógenos. Desta forma, age diminuindo assim a sensação de dor da pessoa, deixando-a relaxada, o que causa um grande prazer. No entanto, quando este efeito passa o indivíduo busca novas doses da droga para obter a mesma satisfação que as doses anteriores e assim surge a dependência. Por isto, estas substâncias são classificadas também como drogas de abuso*.[12,22,26-30]

Por outro lado, a partir da morfina, foram sintetizadas outras drogas como a heroína, que é ilegal. A heroína encontra-se tanto na forma de pedra quanto na de pó, sendo que geralmente o pó é marrom ou branco, tal como o ilustrado na figura 7. A heroína age no sistema nervoso central da mesma forma que a morfina e que a codeína, mas é mais forte, deixando 90% dos seus consumidores dependentes. Como o consumidor vai sempre buscar uma maior quantidade da droga para obter os mesmos efeitos, há um aumento na possibilidade de ocorrer overdoses. Além disso, a síndrome de abstinência é violentíssima! Quando se tira a droga, ele sente fortes dores em todo o corpo (principalmente nos ossos e no abdômen), tosse, coriza, suor, salivação intensa, lacrimejamento, diminuição de temperatura e convulsões.[30-32]

---

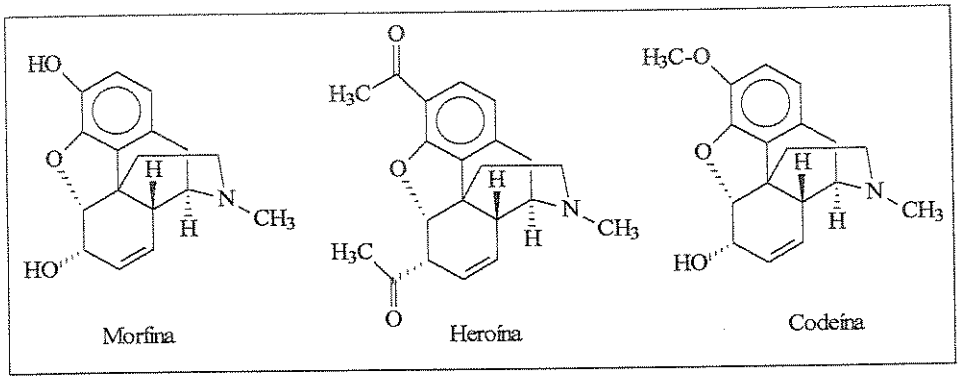
* Ver *"Sensações Emocionais e Drogas"*, páginas 231 a236.

Figura 7 – Pó de heroína.



A heroína, a morfina e a codeína (figura 8) são usadas para acalmar a dor, mas, além destas sensações, podem causar depressão, euforia, irritabilidade e confusão mental.[22]

Figura 8 - Estruturas dos alcalóides derivados da morfina.



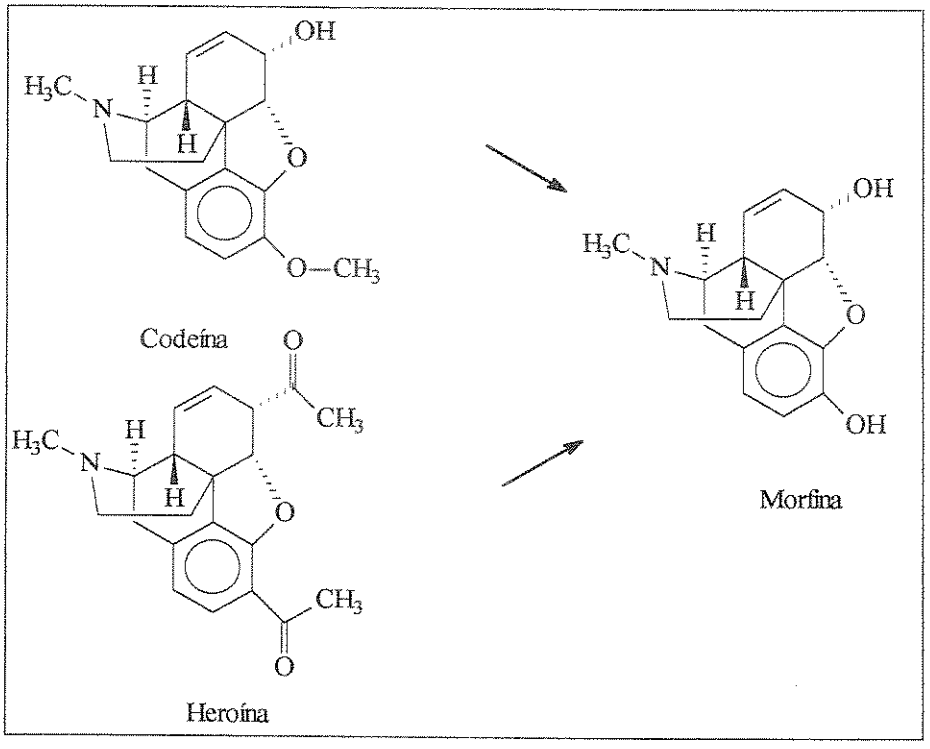
Estas substâncias agem da mesma forma no sistema nervoso central. A codeína é um derivado da morfina, onde grupo *–OH* do fenol da morfina é substituído por *–OCH_3*. A heroína é uma molécula de morfina na qual os dois grupos *–OH* são substituídos por grupos acetila (*-CO-CH_3*), tal como ilustrado na figura **9**.

Na morfina, os grupos *–OH* fazem com que ela seja capaz de interagir, através de ligações de hidrogênio, com a água, o que a torna solúvel em ambientes aquosos. Quando estes grupos são substituídos por grupos acetila, na heroína, perde-se um pouco desta solubilidade em água, mas em compensação aumenta-se a solubilidade em lipídios.[16] O que isto desencadeia? Que diferença isto faz?

Isto faz com que tanto a heroína, quanto a codeína atravessem com maior facilidade as membranas lipídicas e a barreira hemato-encefálica, como conseqüência, chegam em uma maior concentração que a morfina no encéfalo, sendo assim mais potentes. No entanto,

o grupo fenólico é importante para que a morfina consiga interagir com os receptores. Por isto, no cérebro a heroína e a codeína são transformadas em morfina, conforme foi ilustrado na figura **9**, do contrário não conseguiriam interagir com estes receptores![16]

Figura 9 – Ilustração da conversão da heroína e da codeína à morfina.



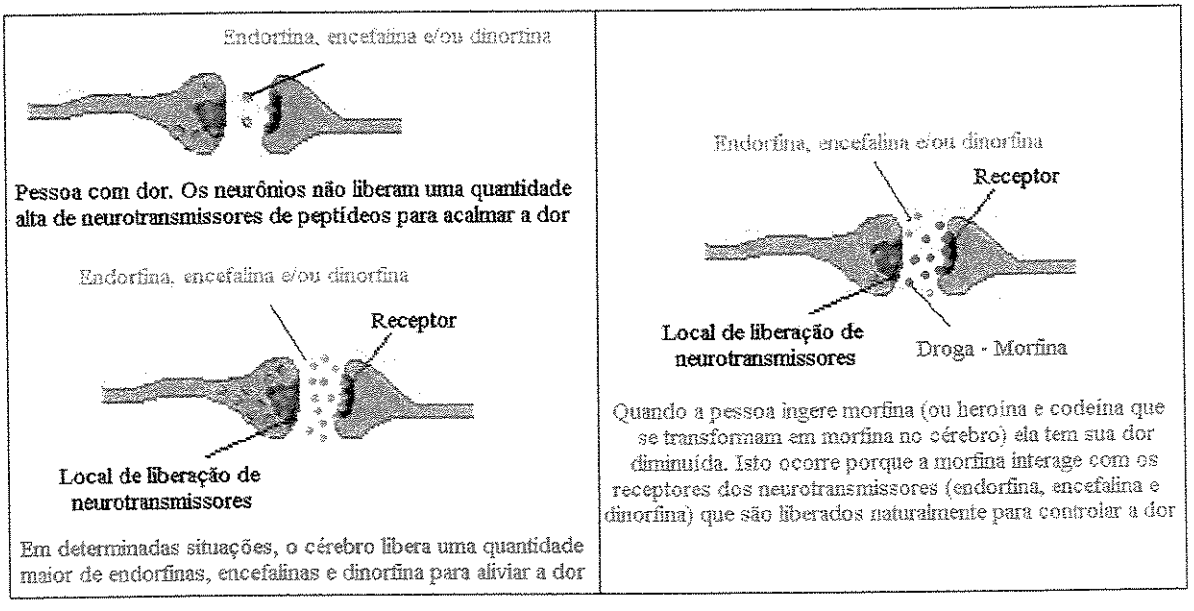
Se colocássemos a codeína ou a heroína diretamente no receptor, verificaríamos que estas substâncias têm uma atividade muito baixa, em comparação com a morfina, cerca de 0,1%. No entanto, verificou-se que a codeína administrada em pacientes tem um efeito 20% maior que a morfina.[16] Como podemos explicar isto?

O grupo metila auxilia a codeína a atravessar a barreira hemato-encefálica, mas quando esta substância chega no cérebro é rapidamente transformada em morfina para interagir com os receptores. O mesmo ocorre com a heroína que, como possui os dois grupos fenólicos da morfina substituídos por grupos acetila, que não são hidrossolúveis, consegue atravessar mais facilmente a barreira. No entanto, se estes grupos não fossem removidos, a heroína não teria nenhuma ação, pois o grupo *-OH* fenólico é essencial para interagir com o receptor. Por isto, a heroína é transformada em morfina.[12,16]

Em alguns testes observou-se que os sais de N-óxido e N-metil quaternários da morfina também são inativos. Isto nos mostra que o nitrogênio da morfina ionizado não se encaixa no receptor. Portanto, este grupo também é essencial para a morfina ter uma atividade no cérebro. Da mesma forma, se retirarmos o anel aromático da molécula, ela também não tem qualquer atividade, portanto, ele também é essencial![16]

Podemos então dizer que a morfina, a heroína e a codeína são agonistas para os receptores dos neurotransmissores de peptídeos endorfinas, encefalinas e dinorfina. Mas, o que são agonistas? São substâncias que interagem com um receptor da mesma forma que a molécula natural interagiria, produzindo, conseqüentemente, o mesmo efeito que ela causaria.[28,30,31] Na figura **10** estão ilustradas as sinapses dos neurônios que liberam estes neurotransmissores quando a pessoa está sentindo dor, quando os neurônios estão liberando substâncias que controlam a dor ou quando a pessoa está ingerindo uma droga como a morfina.

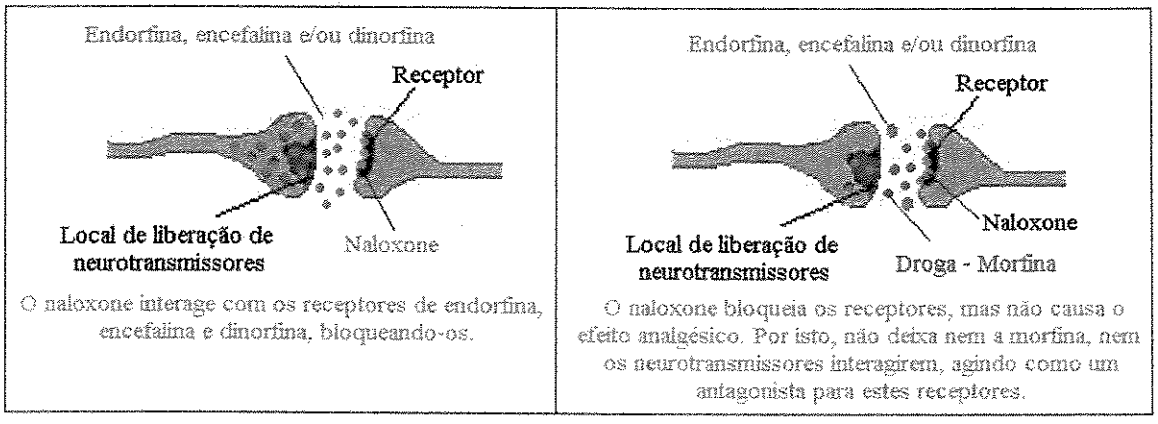
Figura 10 – Ilustração da sinapse dos neurônios que liberam analgésicos endógenos quando a pessoa está sentindo dor, quanto está a controlando ou quando está ingerindo uma droga como morfina.



Quando a morfina interage com o receptor para estes neurotransmissores, ela faz com que a conformação da proteína que o forma mude, o que, conseqüentemente, faz abrir canais iônicos. Desta forma, a morfina atua nas sinapses para estes neurotransmissores![3-5]

Por outro lado, existem substâncias que atuam bloqueando estes receptores e que não exercem qualquer atividade, mas também não deixam as outras substâncias agirem. O naloxone, por exemplo, não tem qualquer atividade analgésica e, por isto é uma substância que age desta forma, sendo chamado de antagonista da morfina.[16,30] Como isto pode ser possível? Alguns grupos do naloxone interagem com o receptor, mas não desencadeiam sua atividade, mas o bloqueiam. Assim, nem a morfina, nem os neurotransmissores de peptídeos não podem mais se ligar. Se a pessoa estiver controlando sua dor, volta a senti-la, tal como ocorre no efeito placebo.[30] Na figura **11** está ilustrado o que ocorre nas sinapses destes neurônios quando o naloxone está presente.

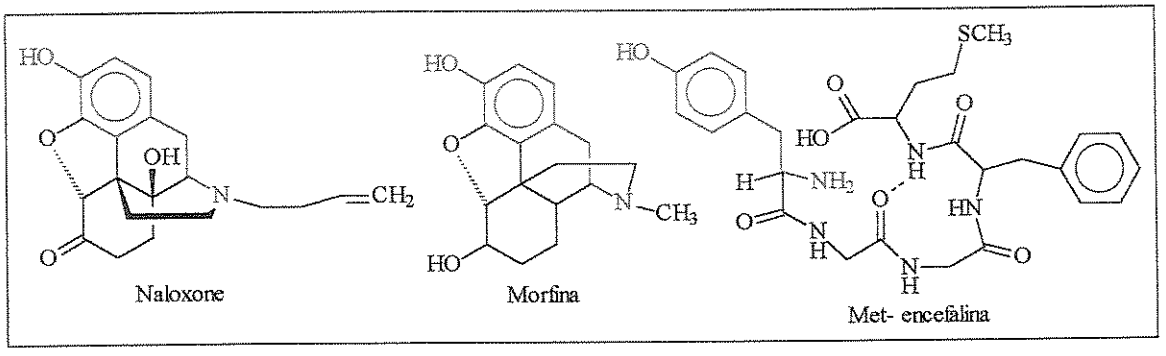
Figura 11 – Ilustração das sinapses dos neurônios que liberam endorfina, encefalina e dinorfina na presença de naloxone.



Então, como será que a morfina interage com este receptor? Por que o naloxone consegue bloqueá-lo? No pH fisiológico, o nitrogênio da morfina está protonado formando assim um grupo positivamente carregado, que interage através de interações eletrostáticas com um grupo aniônico do receptor. Por outro lado, o grupo fenol da morfina também é essencial para que ela tenha uma atividade, este grupo interage através de ligações de hidrogênio com um resíduo adequado do receptor.[16]

Pode-se observar na figura **12** que tanto o naloxone, quantos os neurotransmissores e os opióides possuem um grupo fenólico e um grupo amina na extremidade da molécula. Porém nos neurotransmissores a amina é primária, já nos opióides e no naloxone, ela é terciária, mas no naloxone o grupo ao qual ela está ligada é maior. Este grupo está impedindo que o naloxone desencadeie a atividade analgésica! Mas, os outros grupos, que são similares aos da morfina e dos neurotransmissores, fazem com que o naloxone seja capaz de interagir com os receptores. Desta forma, o naloxone interage com o receptor, mas não desencadeia sua atividade, e não provoca uma resposta. Além disso, ele ocupa o receptor, não deixando assim outras moléculas interagirem com ele!

Figura 12- Comparação entre as estruturas do naloxone, da morfina e da met-encefalina.



Por outro lado, existem outras substâncias que também podem agir como analgésico de ação geral, mas que não interagem com receptores de neurotransmissores de peptídeos endorfinas, encefalinas e dinorfinas. Quais seriam estas substâncias? Onde elas agiriam?

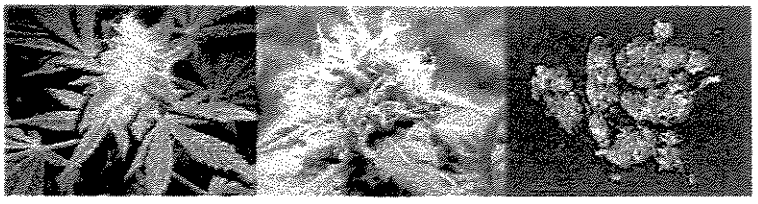
Já mencionamos que a anandamida, que recentemente foi descoberta, está envolvida com a percepção da dor e com a analgesia. Então, uma molécula que interagisse com seus receptores poderia desencadear esta mesma função! Este é o caso do THC (Δ^9-tetrahidrocanabinol) o constituinte ativo da maconha.

Hoje, aproximadamente 2,4% da população mundial consome maconha, isso equivale a aproximadamente 140 milhões de pessoas, um registro maior do que a população total de alguns paises. No entanto, a maioria destas pessoas não a utiliza com fins terapêuticos, mas como uma droga recreacional. No Brasil, esta droga é ilegal, mas, em

alguns países; a maconha é utilizada com fins medicinais para diminuir a dor de pacientes terminais, com câncer e outras patologias.[22]

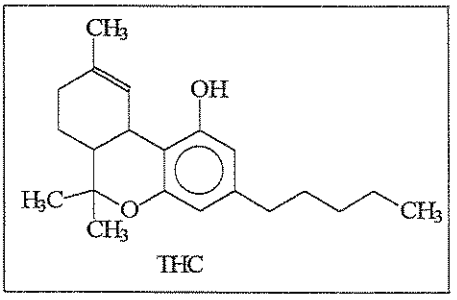
A maconha e o haxixe contêm grandes quantidades de THC e são encontrados nas folhas de *Cannabis sativa*, tal como mostrado na figura **13**.[8]

Figura 13- Folhas de *Cannabis sativa* e maconha na forma de pedra.



O THC contém três anéis sendo um fenólico, outro com uma função alceno e um com uma função éter, conforme ilustrado na figura **14.**

Figura 14- Estrutura do THC, componente ativo da *Cannabis sativa*.



Ainda não se conhece muito bem o que faz a anandamida e como o THC interage com seus receptores. Além destes analgésicos que agem de uma forma geral, pois agem no cérebro, ainda existem os que agem no local da dor, como os que iremos discutir a seguir.

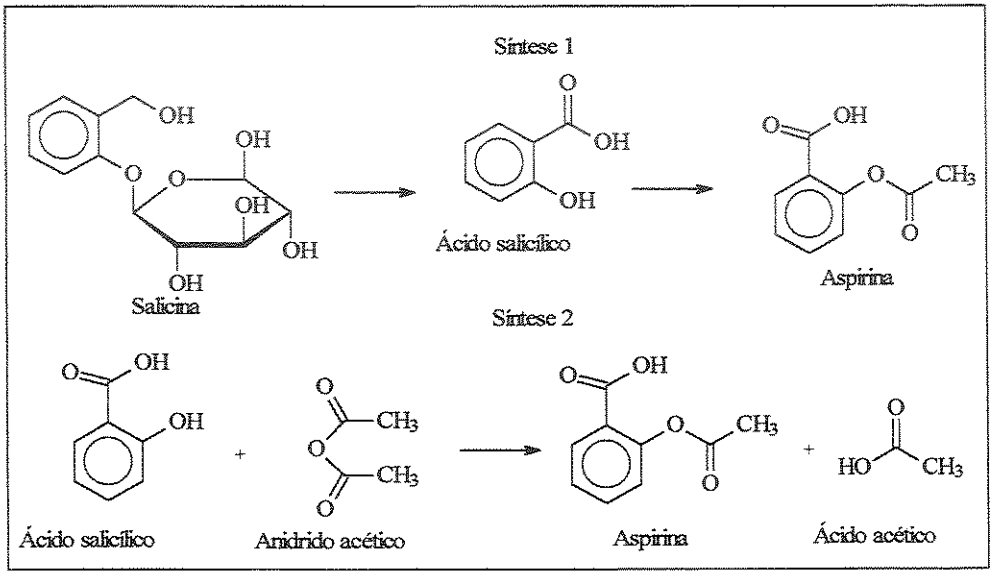
2. Analgésicos de ação local

A aspirina é um analgésico de ação local. É derivada da salicina que é um glicosídeo natural extraído a partir da *Salix sp*, um tipo de salgueiro da família *Salicaceae.* Em 1899, Felix Hoffman sintetizou a aspirina a partir da salicina, acetilando o grupo

hidroxila da posição orto, obtendo assim um composto menos ácido. Este composto foi o primeiro fármaco sintético obtido da otimização de um produto natural, através da relação entre a sua estrutura e propriedade química.[33-35]

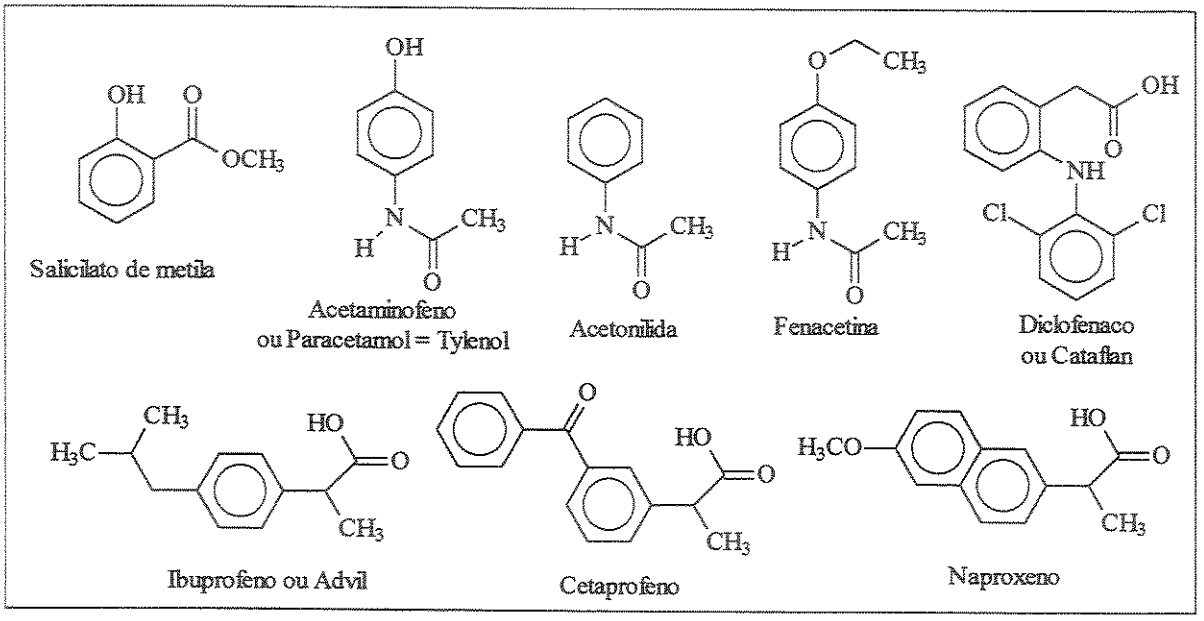
A aspirina pode ser sintetizada de outras formas, além da reação de Felix Hoffman. Por exemplo, também pode ser obtida pela combinação do anidrido acético com o ácido salicílico, usando ácido sulfúrico ou fosfórico em quantidades catalíticas. As sínteses da aspirina estão ilustradas na figura **15**.[33-37]

Figura 15- Ilustração de dois esquemas das sínteses da aspirina.



Além da aspirina, os seguintes compostos: acetaminofeno (vendido sob os nomes de *paracetamol* ou *tylenol*), a acetonilida, a fenacetina, o diclofenaco (*cataflan*) e os derivados do ácido fenilpropiônico: o ibuprofeno (*advil*), o cetaprofeno e o naproxeno também são muito utilizados como analgésicos de ação local. As estruturas dos compostos mencionados estão na figura **16**.[20,27,33-37]

Figura 16 – Estrutura dos compostos que agem como analgésicos periféricos.

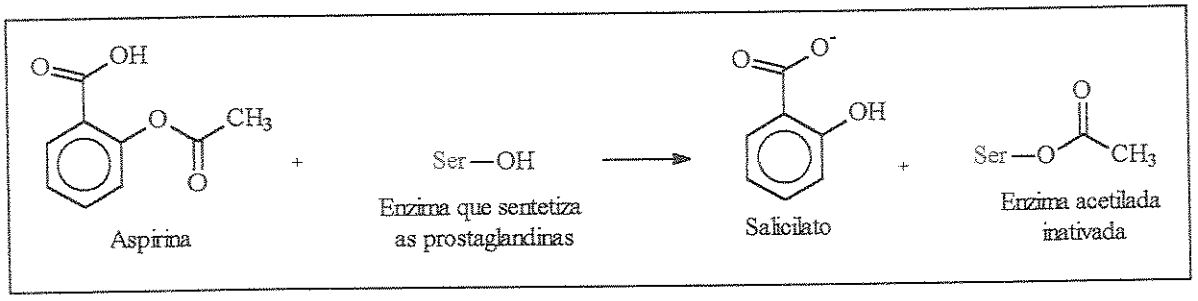


Todos estes compostos agem da mesma forma e por isto causam o mesmo efeito. Mas, como conseguem agir da mesma forma? Como agem? O que possuem em comum?

Através da figura **16**, podemos observar que todos os compostos possuem carbonilas ligadas diretamente ao anel aromático, ou separado dele por somente um átomo de carbono ou de nitrogênio. Em muitos compostos, como nos derivados da aspirina, nos derivados do ácido fenilpropiônico e no diclofenaco, esta carbonila é de um ácido carboxílico. Nos outros compostos, como fenacetina, acetoanilida e acetoaminofeno, esta carbonila pertence a um grupo amida. Estes compostos se diferenciam da aspirina, com um grupo *–NH-* substituindo um átomo de oxigênio, mesmo assim todas estas substâncias são reconhecidas pela mesma enzima, a ciclooxigenase.[27]

A reação entre a carbonila e uma hidroxila da enzima a inibe irreversivelmente, pois envolve a formação de ligações covalentes, que são interações fortes e, portanto dificilmente quebradas. Então, estes analgésicos agem bloqueando a síntese de prostaglandinas por acetilação de um resíduo essencial do aminoácido serina do sítio catalítico da enzima, conforme ilustrado na figura **17**.[9]

Figura 17- Reação de inativação da enzima ciclooxigenase pela aspirina.



Desta forma, as prostaglandinas não são mais sintetizadas e não avisam mais o cérebro que determinado local está lesionado, e é, por isto, que após tomar um analgésico não percebemos mais a dor. Além disso, como já mencionamos as prostaglandinas também são responsáveis pela febre e por muitas outras funções, por isto, quando inibimos sua síntese também inibimos estas outras funções.

Estes analgésicos são os remédios mais vendidos em todo o mundo, são largamente utilizados, como se não tivessem nenhum efeito colateral. Porém, deve-se tomar cuidado, pois a aspirina, por exemplo, pode causar hemorragia em pessoas com dengue ou alérgicas a ela. O paracetamol pode destruir o fígado. Além disso, estes compostos não curam a lesão, apenas inibem a dor, por isto, não avisam a pessoa que algo de errado está acontecendo.[33-38]

Muitas vezes, a dor é tão intensa que as pessoas misturam analgésicos de ação central com os de ação local, como, por exemplo, misturam a aspirina com a morfina. Neste caso, os dois sistemas de analgesia são ativados, a ligação em receptores para endorfinas, encefalinas e dinorfinas e a síntese das prostaglandinas. Por isto, a ação destes dois fármacos juntos é bem maior do que a soma ou adição dos efeitos de cada um.

Mas, como funcionam os anestésicos que bloqueiam todas as sensações? Esta questão será discutida na próxima parte do texto.

3. Anestésicos

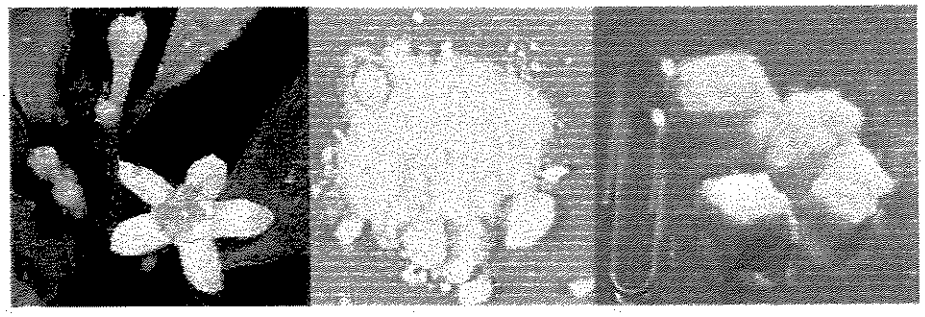
Você sabia que a cocaína é um forte anestésico de ação local? O que é um anestésico? Como eles agem? Por que a cocaína possui a propriedade de ser anestésico?

Os anestésicos locais são drogas que bloqueiam temporariamente os potenciais de ação que são produzidos nos axônios. O que isto desencadeia? Sem potencias de ação, não há transmissão de informação de um neurônio para outro, por isto, não há comunicação química nas sinapses, conseqüentemente, não sentimos nada quando somos anestesiados. Então, o que a anestesia provoca? A ausência de sensações! Alguns dos compostos que têm a propriedade de bloquear os potencias de ação podem ser injetados diretamente na parte do corpo que se deseja que seja anestesiada e, por isto, são chamados de anestésicos locais.[3,21]

O primeiro anestésico local introduzido na prática médica, acredite, foi a cocaína! Este composto foi originalmente isolado das folhas de coca (*Erythroxylon coca*) em 1860 pelo médico alemão Albert Niemann. Conforme o costume dos farmacologistas de seu tempo, ele mesmo testou o novo composto e descobriu que causava dormência em sua língua. Então, resolveu utilizá-la como anestésico, mas logo foi descoberto que a cocaína tinha propriedades tóxicas e que causava dependência química. Além disso, as propriedades de alterações dos estados de consciência que a cocaína provoca foram estudadas por Sigmund Freud. Mas, ela altera o humor por um mecanismo diferente daquele responsável por sua ação de anestésico local.[3,22,28,40]

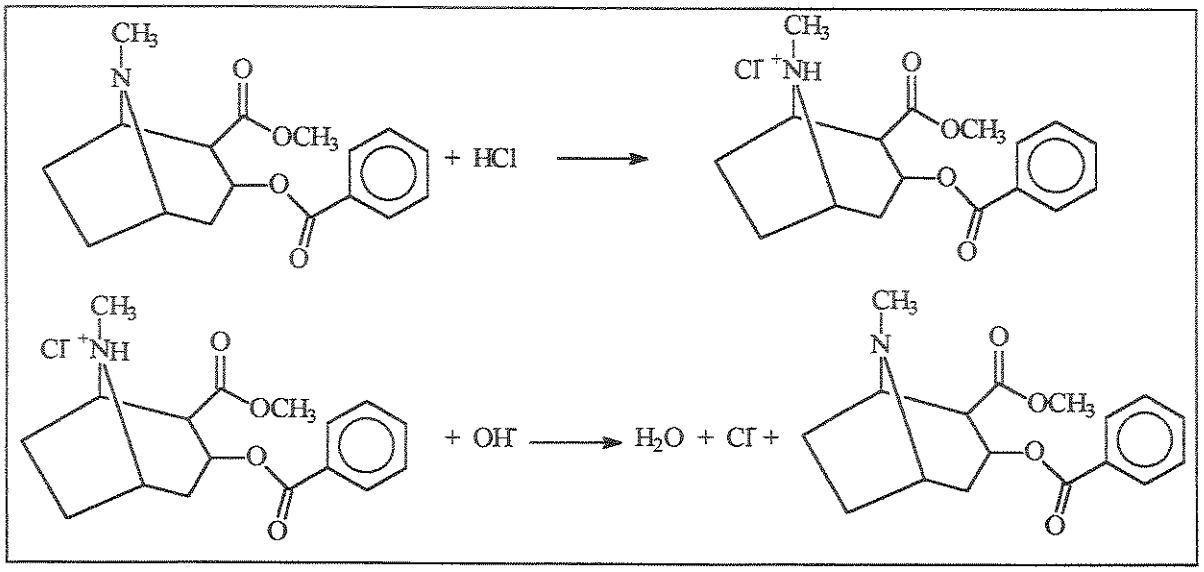
A cocaína é um alcalóide derivado das folhas de coca, de onde também pode ser obtido o crack, que pode atingir um grau de pureza de até 90% e é cinco vezes mais potente que a própria cocaína. Além disso, produz dependência com muito mais facilidade. Na figura **18** pode-se observar a folha da planta de onde é extraída a cocaína e o crack, a cocaína em pó e pedras de crack.[22,39]

Figura 18 – *Erythroxylon coca*, cocaína em pó e pedras de crack.



A cocaína pode ocorrer em duas formas, uma iônica (na forma de cloridrato e sal de amônio quaternário) e outra como uma molécula sem carga, sendo que uma forma pode ser facilmente convertida na outra conforme ilustrado na figura **19**.[39]

Figura 19 – Estruturas da cocaína, na forma iônica e como uma molécula sem carga.



A cocaína aparece na forma iônica, enquanto que o crack aparece na forma sem carga. O que isto muda? Esta pequena diferença entre o crack e a cocaína ilustra os efeitos causados pelas diferenças entre as ligações intermoleculares e a química ácido-base das aminas.[39]

O átomo de nitrogênio básico da molécula sem carga pode aceitar um próton enquanto que o próton ácido do cloridrato pode ser doado para a base. Como estas reações ácido-base produzem compostos que fazem diferentes tipos de interações intermoleculares, estes compostos também possuem propriedades diferentes. Por exemplo, a molécula sem carga é mais volátil, tem menor ponto de fusão e é mais solúvel em solventes de baixa polaridade, porque não têm atrações iônicas ou ligações de hidrogênio. Por outro lado, o derivado na forma de cloridrato tem alto ponto de fusão e a alta solubilidade em água, o que é uma característica dos compostos iônicos.[39] Assim, qual composto você acha que chegará primeiro no cérebro: a cocaína na forma de cloridrato ou como uma molécula sem carga? A

cocaína como uma molécula sem carga, pois atravessa com maior facilidade a barreira hemato-encefálica! É por isto que o crack é mais forte que a cocaína!

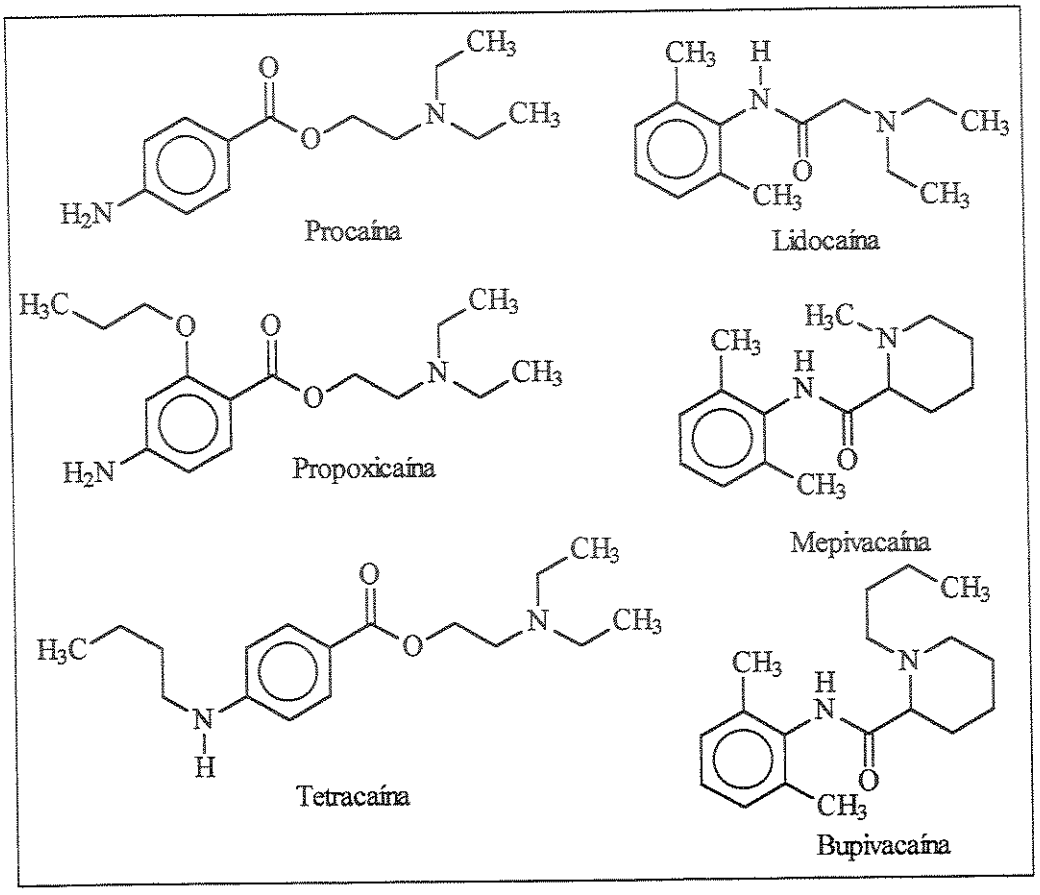
Mas, já mencionamos que a cocaína age de maneira diferente no cérebro e no tecido que desejamos que seja anestesiado. O que ela faz nestes tecidos? Por que causa anestesia? Quais são os outros compostos que são utilizados para produzir a anestesia?

A cocaína já foi uma substância largamente utilizada como anestésico, contudo, devido aos seus efeitos colaterais, ela foi substituída por outras drogas, que causam menos dependência e que são menos tóxicas. A busca por um substituto sintético adequado para a cocaína levou ao desenvolvimento da lidocaína, que é agora o anestésico local mais largamente utilizado. Ela pode ser dissolvida em gel e aplicada sobre as mucosas da boca, isto é o que fazem os dentistas para poderem mexer em algum dente. Além disso, também pode ser utilizada em outros lugares onde adormecem terminais nervosos, sendo para isto injetada diretamente em um tecido ou em um nervo, ou até mesmo ser infundida num líquido chamado de cefalorraquidiano que banha a medula espinhal. É por isto que a anestesia local que faz adormecer grandes partes do corpo é chamada de raquidiana.[3,20]

Para causar a anestesia, a lidocaína, assim como a cocaína e outros analgésicos não deixam os axônios gerarem potenciais de ação por se ligarem a canais de sódio. O neurônio em repouso possui o seu interior negativo em relação ao seu exterior, mas ao receber um estímulo e gerar um potencial de ação, os canais de sódio são abertos e como o sódio está mais concentrado fora do neurônio do que dentro e como existe uma diferença no seu gradiente eletroquímico, ele entra no neurônio e deixa por um instante seu interior carregado positivamente. Isto é chamado de potencial de ação. O que acontece se os canais se sódio forem bloqueados? O sódio não entra mais no neurônio, e este não conduz mais os potenciais de ação! Isto é o que fazem os anestésicos![3]

Além da lidocaína ou xylocaína, podemos citar outras drogas que agem como anestésicos locais tais como: a procaína ou novocaína, a propoxicaína, a tetracaína, a mevicaína ou carbocaína, a bupivacaína ou marcaína. Estas drogas são derivadas da cocaína e são utilizadas como anestésicos locais, cujas estruturas estão ilustradas na figura **20**.[20,30]

Figura 20 – Estruturas de analgésicos locais derivados da cocaína.



O que estas substâncias têm que as fazem agir como anestésicos locais?

Para agir como anestésico local, uma substância tem que ter determinadas características como: o anel aromático, a cadeia intermediária e o grupo terminal amina secundária ou terciária. Por que isto é importante? O que cada um destes grupos faz?

A parte aromática confere a propriedade lipofílica à molécula, que é essencial para que o anestésico atravesse as membranas celulares e penetre no seu local de ação. Já a parte terminal amina terciária confere hidrossolubilidade para a molécula, o que também é importante, pois assegura que, uma vez injetada em concentração eficaz, a droga não se precipitará com a exposição ao líquido intersticial.[27,41]

A parte intermediária é importante porque fornece uma separação espacial entre as extremidades lipofílicas e hidrofílicas. Geralmente, na cadeia intermediária encontramos a função éster, como a da procaína, propóxicaína e da tetracaína; ou a função amida como a

da mevicaína, bupivacaína e da lidocaína. Pequenas modificações em qualquer parte da molécula do anestésico local podem influenciar na ação da droga, inclusive pode fazer com que a droga deixe de ser anestésica ou que vire uma substância tóxica.[27,41]

Assim como a cocaína, os anestésicos locais também podem agir no sistema nervoso central. Neste sistema, eles causam sensações estimulantes, o que resulta em sensações de vertigem, tonteira, distúrbios visuais e auditivos, apreensão, desorientação e atividades musculares involuntárias. Além disso, após este efeito inicial provocam respostas depressoras como: dificuldade de fala, sonolência e inconsciência. Isto ocorre porque estas moléculas têm a capacidade de inibir a recaptação de neurotransmissores como dopamina e serotonina.[22,28,41]

Quando um neurotransmissor interage com seu receptor ele tem que ser recaptado, para que outra comunicação química ocorra, pois senão eles continuam agindo. Geralmente, eles são recaptados ou degradados através de reações enzimáticas. Como a cocaína inibia a recaptação destes neurotransmissores, eles não saem do receptor e ficam agindo por mais tempo.

Através deste texto discutimos que existem muitos mecanismos que nos fazem sentir dor, mas que também existem formas de controlá-la. Além disso, discutimos que existem muitas moléculas que podem interferir de alguma forma no mecanismo da dor. Algumas destas moléculas, como o THC, a morfina, a heroína, a cocaína, também são utilizadas como drogas de abuso, alterando assim diversas sensações, não só a percepção a dor, ou a analgesia e anestesia. No próximo capítulo discutiremos melhor como diversas substâncias utilizadas como drogas alteram o comportamento, bem como as sensações emocionais.

• Considerações finais

Neste capítulo discutimos a sensação de dor, relacionando os diversos estímulos que a causam com as substâncias liberadas no local da sua origem, assim como as substâncias liberadas pelo cérebro que a diminuem, agindo como analgésicos endógenos.

Além disso, também foi discutida, de forma interdisciplinar, a ação dos analgésicos locais, gerais e dos anestésicos. Geralmente, nos livros didáticos de química, especialmente

os de química orgânica, aparecem algumas reações que ilustram a ação destes compostos, mas não há relação com a sensação de dor. Por isto, este texto pode complementar estas discussões, bem como ilustrar ao aluno a aplicação de conceitos químicos na sociedade e no seu cotidiano.

Este texto ilustra exemplos de algumas reações orgânicas, por isto pode ser utilizado, principalmente, em aulas de química orgânica e de bioquímica. Também, poderá ser utilizado em aulas de farmácia bioquímica, medicina e biologia.

CAPÍTULO 9

"Sensações Emocionais e Drogas"

"A mais profunda emoção que podemos experimentar é inspirada pelo senso do mistério.
Essa é a emoção fundamental que inspira a verdadeira arte e a verdadeira ciência.
Quem despreza esse fato, e não é mais capaz de se questionar ou de se maravilhar,
está mais morto do que vivo, sua visão está comprometida.
Foi o senso do mistério - mesmo se misturando com o medo - que gerou a religião.
A existência de algo que nós não podemos penetrar,
a percepção da mais profunda razão e da beleza mais radiante no mundo à nossa volta, que apenas
em suas formas mais primitivas são acessíveis às nossas mentes –
é esse conhecimento e emoção que constituem a verdadeira religiosidade;
nesse sentido, e nesse sentido apenas, eu sou um homem profundamente religioso."
Albert Einstein[1]

O que é uma emoção? Podemos responder esta pergunta com muitas outras, como por exemplo: quem não tem seus medos? Quem nunca ficou intensamente feliz ao receber uma boa notícia? Quem nunca sentiu saudades de alguém, ou de um tempo que já se foi? Quem nunca teve uma amizade, um sentimento carinhoso por alguém? Quem não fica com raiva quando se sente ameaçado? Quem nunca teve vontade de "partir para cima" de alguém, colocando para fora toda sua agressividade? Quem nunca ficou ansioso perto de uma data especial? Quem nunca chorou quando foi magoado?

Grandes emoções marcam os fatos mais importantes da nossa vida! Um amor, uma decepção, uma amizade, um inimigo, um casamento, um divórcio, um nascimento, uma morte! Quando um fato é dotado de grande emoção, nunca mais nos esquecemos dele! Ou você esqueceu o dia em que passou no vestibular? Ou o dia em que conheceu uma pessoa especial? Ou um dia em que se sentiu traído? Ou um dia em que levou um "fora"?

Com exceção dos psicopatas, todas as pessoas têm emoções. Se ela é o oposto da razão, será que temos algum pensamento realmente puramente racional? É difícil responder esta pergunta, porque razão e emoção são características muito mais subjetivas do que qualquer outra operação mental!

Geralmente, não controlamos as emoções! Apesar de podermos disfarçá-las! Quem nunca segurou o riso ou o choro? Isto nos mostra o quanto é difícil controlá-las, tanto que as crianças, em geral, não a controlam. Quando viramos adultos, aprendemos socialmente e culturalmente a "segurar" e "guardar" alguns dos nossos sentimentos.

Por exemplo, muitas vezes, sentimos vontade de xingar ou de bater em alguém, mas não o fazemos! Pois sabemos que socialmente este nosso ato não seria bem visto, além disso, muitas vezes, uma pessoa que agride uma outra pode até ser presa, mesmo que esteja com "razão".

As emoções são importantíssimas para a vida de todos! Regem a nossa vida em sociedade! Nos motivam a continuar sobrevivendo, já que estamos constantemente buscando prazer! Estamos constantemente tomando atitudes que nos tornem pessoas melhores, mais felizes e mais amadas!

Sempre que experimentamos uma emoção boa, queremos mais! Ou seja, somos motivados a buscar mais prazer! Por outro lado, sempre que temos uma sensação emocional ruim, tendemos a fugir daquele estímulo! Criamos aversões, fobias, pânicos e medos![2,3]

As emoções, mais que qualquer outra sensação, são pessoais e subjetivas. Assim, o que é extremamente prazeroso para uma pessoa, pode ser extremamente desagradável para outra. Por exemplo, existem muitos medos: de altura, do escuro, de pessoas estranhas e até mesmo, por incrível que pareça, de ser feliz, de sentir prazer! Isto mostra o quanto as emoções podem parecer confusas e o quanto são características de cada um. Elas sempre dependem do contexto, da personalidade, da mente e da história de vida de cada pessoa, também dependem do modo como ela enfrenta cada situação de sua vida.[2,3]

A emoção também pode surgir da simples imaginação de um contexto que nunca aconteceu, e talvez nunca acontecerá. Ela pode surgir da ficção, por exemplo, muitas vezes nos sensibilizamos com personagens da televisão, do cinema, do teatro ou dos nossos livros. Os atores são, então, intérpretes de emoções!

As sensações emocionais desencadeiam comportamentos diversos, tais como: um sorriso, um grito, um choro, uma fuga, uma luta, um ataque, uma expressão facial. Além disso, também desencadeiam determinadas ações fisiológicas involuntárias, como o suor, o arrepio, a vermelhidão, a alteração dos batimentos cardíacos, da respiração, dentre outras. Também envolve nossos pensamentos mais íntimos e profundos, inconscientes e conscientes.[2,3,4]

Elas também podem ser alteradas pelas influências do ambiente. Por exemplo, quando estamos tristes, recebemos uma notícia e de repente, ficamos felizes, com ela. O oposto também pode ocorrer! Além disso, as sensações emocionais podem ser alteradas por

substâncias que agem no sistema nervoso central, principalmente em regiões do encéfalo que regulam este tipo de sensação. Dentre estas substâncias podemos citar as drogas de abuso.[2-4]

Mas, o que acontece no encéfalo quando temos uma emoção? O que os neurônios fazem? Como os mais diversos estímulos são transformados em sensações emocionais? Como as drogas conseguem alterar o comportamento e as sensações emocionais? No decorrer deste capítulo discutiremos algumas destas questões...

- **Sensações emocionais e o encéfalo**

Quando discutimos as outras sensações observamos que todas elas possuem algo bem definido que estimula os receptores localizados nos órgãos dos sentidos, que enviam mensagens ao encéfalo, que transforma àqueles estímulos em sensação. Mas, quais são os estímulos para as sensações emocionais?

É difícil responder esta pergunta! Sabemos que podemos sentir uma determinada emoção ao olhar para uma cena, ao ouvir um som, ao sentir um determinado sabor ou cheiro, ou simplesmente pensando, lembrando de algo que está em nossa memória... Também podemos nos emocionar com a imaginação, com as estórias de outras pessoas, com a ficção...

Além disso, podemos sentir muitas emoções diversas, tais como: raiva, medo, alegria, tristeza, amor, ódio, encantamento, agonia, desprezo, desespero, pânico, inveja, saudades, ansiedade dentre muitas outras. Também sabemos que elas são singulares e em cada época da nossa vida elas aparecem de uma forma... Então, como classificá-las?[2-5]

Podemos dizer que existem emoções que procuramos repetir, tais como a sensação de alegria, felicidade ou prazer; bem como existem outras que procuramos eliminar, tais como as sensações de medo, raiva, tristeza. Mas, por outro lado, existem pessoas que "gostam" de sentir medo, por exemplo, que sentem prazer em senti-lo e que por isto, estão sempre o procurando...[2-4]

Quais seriam estas pessoas? Aquelas que gostam de arriscar as próprias vidas em esportes radicais, que gostam de sentir um "friozinho" na barriga ao pular de pára-quedas, fazer raffiting, surfar em ondas gigantescas, escalar paredões, esquiar, dentre outros. Além

disso, não é preciso arriscar a vida para ter prazer em sentir medo... Muitas pessoas o sentem com a ficção! Por exemplo, ao assistir filmes de terror e/ou suspense, ler estórias "macabras" algumas pessoas ficam "aterrorizadas", morrendo de medo com a ficção, mas gostam de senti-lo![6]

Mas, independentemente do tipo de emoção que estamos sentindo, seja medo ou prazer, todas elas nos trazem alterações fisiológicas, psicológicas e comportamentais. Além disso, as sensações emocionais são expressas muito mais através da linguagem corporal e facial do que pela linguagem verbal. E como tudo o que acontece no organismo, estas alterações, são comandadas pelo sistema nervoso central, que também comanda as reações comportamentais, como o choro, o sorriso, as expressões faciais, a luta, a fuga, a busca pelo prazer, dentre outros.[3-5]

No sistema nervoso central, o sistema límbico é definido como o centro das emoções, sendo na verdade um conjunto de regiões. Deste sistema faz parte uma estrutura chamada de amígdala, que funciona como uma espécie de botão de disparo para todas as sensações emocionais. Além disso, outra parte do encéfalo envolvido com elas é o hipotálamo, que comanda o sistema nervoso vegetativo e o endócrino.[3-5]

Basicamente, antes de um estímulo, real ou imaginário, desencadear uma sensação emocional, ele percorre vários caminhos no sistema nervoso central. Os estímulos sensoriais chegam diretamente à amígdala, ou são processados e interpretados pelo cérebro, para depois atingi-la.[3-5]

Os neurônios da amígdala se comunicam com os do hipotálamo ativando os do sistema nervoso vegetativo, endócrino, imunitário e do motor, o que resultaria nas mudanças comportamentais e fisiológicas características das sensações emocionais. O vegetativo e o endócrino controlam as alterações fisiológicas como: a sudorese, a secura da boca, a tensão no estômago, a respiração rápida, a taquicardia, e as tensões musculares.[3-5]

Ainda não se conhece totalmente o que ocorre no sistema nervoso durante uma sensação emocional, pois elas são muito subjetivas. Muitas pesquisas buscam classificar as emoções e os distúrbios emocionais, definindo-as; por outro lado, outras tendem a atribuir determinados centros do encéfalo e seus conjuntos de neurotransmissores para discuti-las. Além disso, existem muitas emoções similares e umas derivadas as outras.[3-5]

Muito do que se conhece sobre sensações emocionais, se deve às pesquisas sobre o modo de ação das drogas de abuso, que as alteram, por isto na próxima parte do texto discutiremos a ação destas drogas, relacionado-a com a liberação de determinados neurotransmissores.

• Alterações das sensações emocionais com drogas de abuso

De um modo geral, todos conhecemos algo sobre as drogas de abuso, pois elas estão presentes no nosso cotidiano e diariamente são temas de alguma matéria de jornais, revistas, internet ou televisão. Nestas reportagens, geralmente, são discutidos os problemas sociais que elas provocam.

É importante lembrar, que nem todas as drogas são maléficas, não podemos esquecer que os medicamentos também são chamados de drogas. Segundo a Organização Mundial de Saúde, droga é qualquer substância ou a mistura delas (à exceção daquelas necessárias para a manutenção da saúde, como, por exemplo, água e oxigênio), que altera as funções biológicas. Isto quer dizer que é qualquer substância capaz de modificar o modo normal do organismo agir; como conseqüência, pode haver uma mudança de estado de ânimo, de entendimento e/ou de comportamento.[7]

No entanto, as chamadas drogas de abuso podem trazer conseqüências maléficas para o indivíduo. Elas, freqüentemente, são ilegais, devido aos efeitos colaterais, as grandes mudanças de comportamentos e porque levam à dependência química, física e psicológica. Porém, estas substâncias possuem importância histórica, pois muitas delas serviram como base para o desenvolvimento de medicamentos, além de serem utilizadas em rituais religiosos.[7-13]

Existem, pelo menos, cinco maneiras pelas quais as drogas conseguem entrar no organismo, tais como: por via oral, pelo contato pela pele ou olhos, por inalação, por aspiração e por injeção. O que diferencia cada uma delas?

Quando uma pessoa toma alguma bebida alcoólica, um comprimido, ou um chá de cogumelo, a droga entra em seu organismo por via oral. Como conseqüência, ela passa por todo o sistema digestivo, até ser absorvida nos vasos sanguíneos das paredes do intestino. Por isto, a droga tem que ser resistente a ação das enzimas salivares e dos ácidos presentes

no estomago, pois senão será destruída. Além disso, seus efeitos são mais fracos e somente aparecem após 20 a 30 minutos depois.[7,9]

Algumas drogas, como o LSD, podem ser pingadas no olho ou numa parte úmida da pele. Desta forma, entram no organismo pelo simples contato, o que a fazem agir muito mais rápido do que por via oral, por exemplo, as reações que a droga desencadeia aparecem após 5 a 10 minutos depois do contato.[7,9]

Quando a droga é inalada seus efeitos aparecem ainda mais rápidos do que quando colocada em contato, neste caso, o tempo estimado para aparecer é de 3 a 5 minutos. Geralmente, a cocaína e a heroína são utilizadas desta forma, sendo aspiradas pelo nariz e absorvidas pelos vasos sanguíneos presentes nas membranas das fossas nasais.[7,9]

Algumas drogas podem ser aspiradas, como por exemplo, quando se fuma um cigarro normal, de maconha, ou de crack, a droga vaporizada penetra nos pulmões e é absorvida de imediato pelos vasos sanguíneos dos alvéolos do pulmão. Dos pulmões, o sangue contendo a droga é bombeado para o coração e dali segue para o corpo e cérebro e, é por isto, que estas drogas agem muito rapidamente, e seus efeitos aparecem num período de 7 a 10 segundos.[7,9]

Por outro lado, as drogas também podem entrar no corpo a partir da injeção. Por exemplo, a cocaína, a morfina, a heroína, assim como outras drogas podem ser injetadas diretamente na corrente sanguínea e este é um meio rápido e eficaz para sua absorção, pois os efeitos aparecem após 15 a 30 segundo depois.[7,9]

Mas, o que acontece depois que a droga entra no organismo? Como ela consegue chegar até o encéfalo? Como ela age no encéfalo?

Independentemente do modo como a droga entrou no organismo, ela acaba caindo na corrente sanguínea, e com o sangue percorrem todos os órgãos, fluidos e tecidos do corpo, podendo ser desprezadas, absorvidas, transformadas ou metabolizadas, o que ocorre em apenas 10 a 15 segundos. Mas, depois de percorrer todos os órgãos do corpo, ela consegue atingir o cérebro.[9]

Mas, não é qualquer substância que entra no sistema nervoso, ele é muito seletivo. Isto porque possui a barreira hemato-encefálica que o protege, não deixando que qualquer substância o alcance. Como, então, as drogas alcançam o cérebro? O que elas têm para

conseguir atravessar a barreira hemato-encefálica? Quais são as drogas que atravessam esta barreira?

As substâncias que são capazes de alterar os estados mentais podem atuar como estimulantes, depressoras ou perturbadoras. Sendo que a maioria delas interfere, principalmente nas partes do encéfalo que regulam as sensações emocionais, o humor, o sono e a memória. Além disso, para atravessar a barreira hemato-encefálica, por isto, ou deve ser lipossolúvel, ou deve interagir com alguma molécula que a transporte para dentro do encéfalo. Geralmente, as drogas de abuso possuem em sua estrutura anéis aromáticos, o que confere a lipossolubilidade à molécula.[3-5,11,12]

Como as drogas agem no sistema nervoso central? Basicamente, as diversas moléculas podem agir como agonista: interagindo com o receptor e desencadeando uma resposta biológica igual ao que o neurotransmissor ou outra molécula endógena agiria; e o antagonista que é capaz de se ligar ao receptor sem promover a resposta biológica, bloqueando a ação do agonista e/ou da molécula endógena, o que ocasiona uma resposta inversa.[12]

As drogas podem agir destas duas formas! Mas, onde elas agem? Como interferem nas emoções? Quais são os neurotransmissores envolvidos com as emoções? Quais são os neurônios que as drogas afetam?

Como existem muitas emoções e muitas substâncias que podem alterá-las, para facilitar nossa compreensão, podemos dividir as emoções e as drogas em classes. Desta forma, podemos relacionar a ansiedade com ação dos ansiolíticos; bem como a tristeza e a depressão com os antidepressivos; ou ainda, o prazer com as drogas que estimulam e/ou perturbam o funcionamento do sistema nervoso. A seguir discutiremos cada uma destas classes.

1. Ansiedade, medo, pânico e ansiolíticos

O que é o medo? Qual a diferença do medo, da ansiedade e do pânico? Por que sentimos estas sensações? Existem muitas emoções parecidas com o medo, assim como existem distúrbios que são derivados desta sensação. O medo pode ser rápido, como um

susto, mas quando ocorre continuamente durante muito tempo, a sensação se transforma em um estado emocional de tensão ou estresse.[2,3]

Geralmente, o estresse é definido quando se pode identificar uma causa geradora do medo crônico. Já a ansiedade ocorre quando as causas não são necessariamente produtoras de medo, mas sim de expectativa de alguma coisa, que muitas vezes pode ser boa, e que poderá acontecer no futuro.[2,3]

A ansiedade e o estresse são reações normais, mas a partir do momento que começam a provocar um sofrimento, pode-se ter um distúrbio. As pessoas que têm distúrbio de ansiedade temem tomar decisões e pensam nelas o tempo todo.[2]

O medo extremo também pode desencadear vários tipos de fobias, como por exemplo, o medo de altura, de lugares pequenos e fechados, de água, de insetos, dentre outros. Outro distúrbio que é uma conseqüência da sensação de medo é o do pânico, caracterizado por recorrentes ataques de ansiedade que ocorrem, em geral, súbita e inesperadamente.[7]

A ansiedade e o medo afetam a amígdala, que faz parte do sistema límbico e que está envolvida com a percepção e com a resposta a estímulos que causam o medo. A amígdala também é o centro da agressividade, é por isto, que a agressividade está vinculada com o medo, além disso, seus neurônios também estão conectados com os do córtex, que processam as informações vindas de todos os receptores sensoriais.[3-5] Desta forma, qualquer sensação ou percepção pode causar medo, até mesmo a imaginação ou a lembrança de um fato, pois quando isto acontece são ativados os mesmos neurônios que interpretam as sensações e as transformam em percepções.

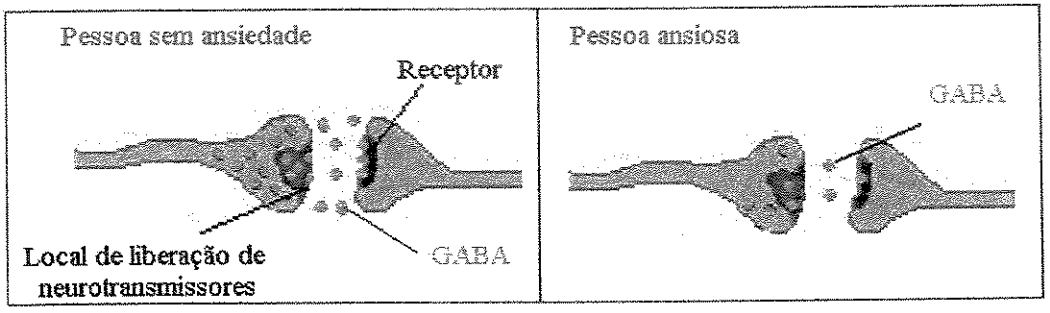
Além disso, a amígdala também se comunica com os neurônios da divisão simpática do sistema nervoso vegetativo e que liberam adrenalina, o que faz com que os batimentos cardíacos sejam acelerados, a respiração fique ofegante, os sentidos fiquem aguçados, que são sintomas típicos da ansiedade.

Mas, o principal neurotransmissor associado com as sensações emocionais de medo e ansiedade é o GABA. Muito do que se sabe da atividade deles e sua relação com as sensações emocionais, deve-se ao estudo com drogas e medicamentos psicoativos, como por exemplo, os benzodiazepínicos e os barbituratos. Em alguns estudos foi observado que estas drogas agem no receptor de GABA. Este receptor é um canal iônico de cloreto e,

quando aberto, deixa entrar estes íons no neurônio, e estas drogas atuam, exatamente, abrindo este canal, o que, conseqüentemente, faz com que os sintomas de ansiedade sejam diminuídos.[2-5,11]

Se o aumento da atividade dos neurônios que liberam o GABA diminuem a ansiedade, então, uma pessoa ansiosa tem a ação destes neurônios diminuída, tal como é ilustrado na figura 1.

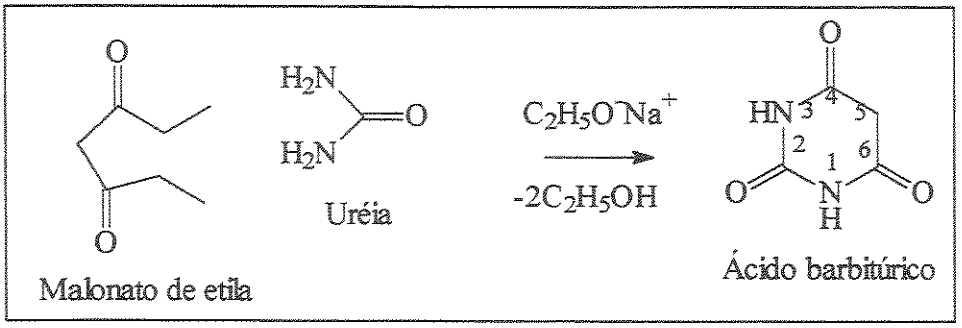
Figura 1 – Diferença, nas sinapses dos neurônios que liberam GABA, entre uma pessoa com e sem ansiedade.



Para diminuir a ansiedade podem ser utilizados medicamentos que são denominados de ansiolíticos, estes medicamentes também agem como hipnóticos, pois induzem ao sono, bem como são sedativos. A primeira substância utilizada como ansiolítico e hipnótico foi o álcool etílico, por também inibir os neurônios do sistema nervoso central. Com o desenvolvimento de outras substâncias como os benzodiazepínicos e os barbituratos, e devido aos seus efeitos colaterais, o uso do álcool foi descartado.[11]

Os barbituratos são derivados do ácido barbitúrico, que é um ácido moderadamente forte, que pode ser sintetizado a partir da reação de malonato de etila com a uréia, na presença de etóxido de sódio, conforme a reação da figura 2.[14]

Figura 2- Reação de formação de um *ácido barbitúrico*.



O ácido barbitúrico não possui qualquer propriedade inibitória do sistema nervoso central. No entanto, seus derivados, os barbituratos, onde os hidrogênios do carbono **5** encontram-se disubstituídos (com substituintes R_{5a} e R_{5b}) por cadeias alquilas, possuem propriedades hipnóticas, sedativas e ansiolíticas. Geralmente, isto é verificado para os compostos que possuem um número máximo de até oito carbonos, pois a partir deste número as drogas se tornam tóxicas e podem levar a convulsão. Nestes casos, há também um aumento da atividade hipnótica, mas a duração do efeito é diminuída. Por isto, as drogas mais utilizadas possuem um grupo etil como substituinte e outros grupos com menos de oito carbonos, conforme é observado na tabela **1**.[11,14-16]

Tabela 1- Nomes e substituintes dos barbituratos mais importantes utilizados como sedativos, hipnóticos e ansiolíticos.

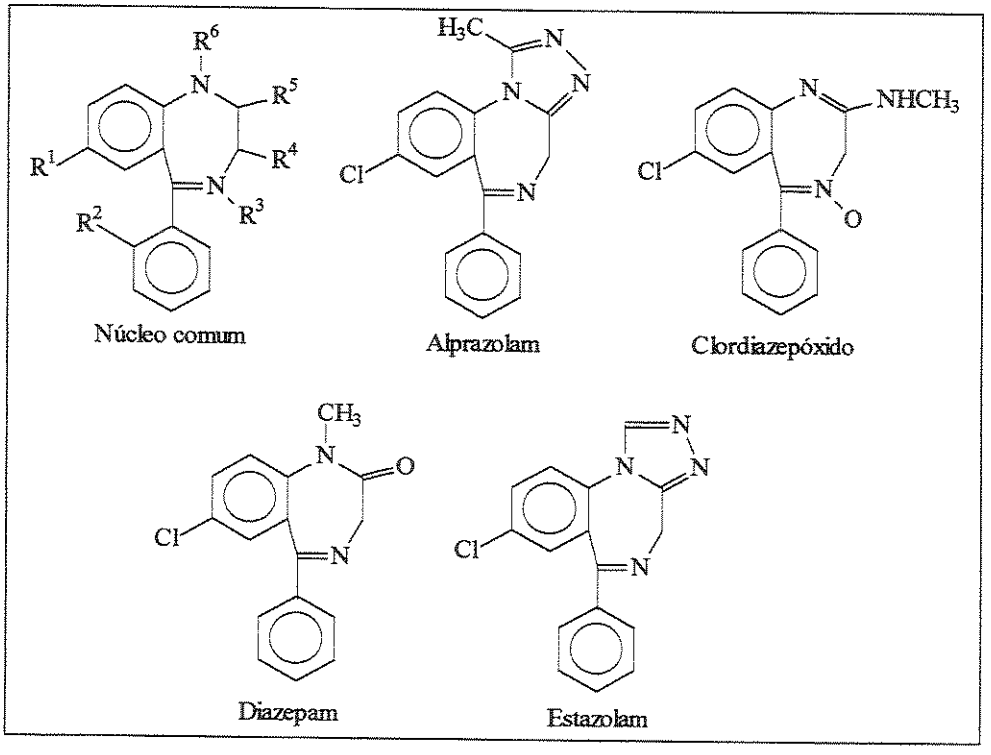
Nome Comercial	*Nome Genérico*	R_{5a}	R_{5b}
Amystal	Amobarbital	Etil	Isopentil
Butisol	Butabarbital	Etil	Sec-butila
Mebaral	Mefobarbital	Etil	Isobutil
Nembutal	Pentobarbital	Etil	1-Metilbutil
Luminal	Fenobarbital	Etil	Fenil
Seconal	Secobarbital	Alil	1-Metilbutil

Os benzodiazepínicos, por sua vez, são todos derivados de um núcleo comum, que consiste de um anel benzênico fundido a um anel diazepínico (com dois nitrogênios) de sete membros. Todos os benzodiazepínicos importantes possuem também um segundo anel benzênico ligado ao átomo de carbono na posição **5** do anel diazepínico. Os compostos mais utilizados são classificados de acordo com a tabela **2** e suas estruturas estão ilustradas na figura **3**.[11,12,15-17]

Tabela 2- Nomes dos benzodiazepínicos mais importantes utilizados como sedativos, hipnóticos e ansiolíticos.

Nome Comercial	***Nome Genérico***
Frontal	Alprazolam
Psicosedin	Clordiazepóxido
Valium	Diazepam
Noctal	Estazolam

Figura 3- Estruturas dos benzodiazepínicos mais importantes comercialmente.



Muitos benzodiazepínicos, derivados deste núcleo comum, foram sintetizados e suas atividades farmacológicas foram testadas. Os pesquisadores observaram que todos benzodiazepínicos inibidores dos neurônios do sistema nervoso central possuíam um grupo eletronegativo ou um átomo eletronegativo na posição R^1 da estrutura do núcleo comum.[16]

Podemos observar que em todos os exemplos citados este grupo eletronegativo é um átomo de cloro. Isto porque o cloro parece conferir a atividade ideal, pois também observaram que quando os benzodiazepínicos eram substituídos nesta posição por átomos de bromo ou por grupos nitro, que também são eletronegativos, sua atividade ansiolítica diminuía. No entanto, quando os grupos nitro são inseridos, o composto apresentava atividades anticonvulsionantes.[16]

Por outro lado, pesquisando-se outros compostos, observaram que quando são inseridos grupos não eletronegativos na posição R^1, tal como o hidrogênio ou grupos metilas, ou quando são feitas outras substituições neste anel aromático, houve uma redução da atividade ansiolítica do benzodiazepínico. Além disso, qualquer substituição no átomo de carbono que está ligado duplamente ao nitrogênio também reduz a eficácia do medicamento.[16]

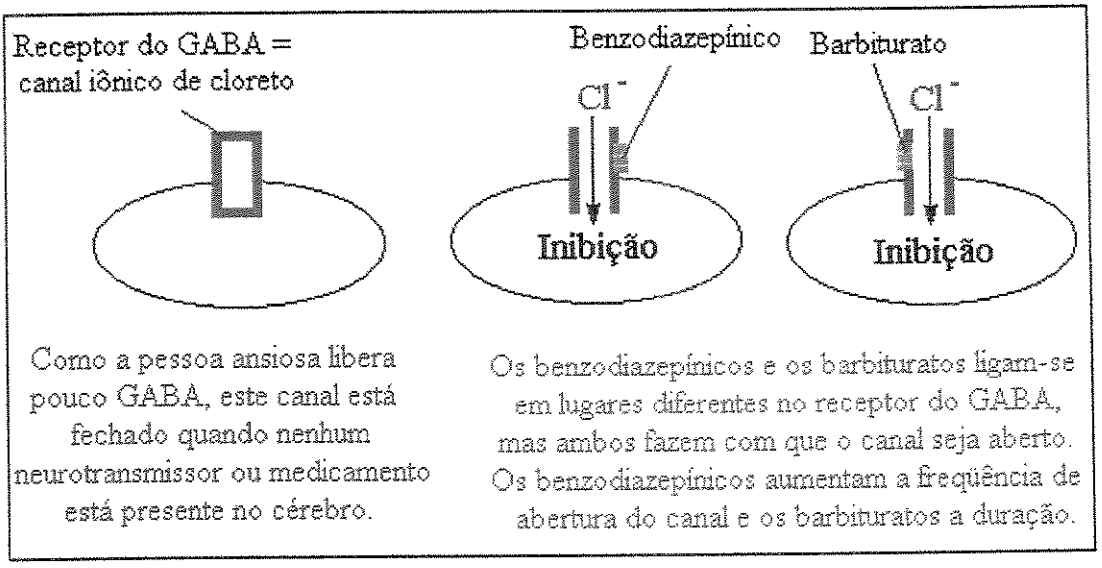
Já quando a posição R^2 é halogenada, observa-se que a eficiência do medicamento aumenta, porém quando nesta mesma posição são colocados grupos *alquila*, esta é reduzida. Observaram também que quando um grupo metil é inserido no nitrogênio em R^6, a eficiência é aumentada, assim como quando grupos metil ou hidrogênio eram inseridos na posição R^4.[16]

Por isto, conclui-se que para que um composto tenha uma atividade farmacológica adequada, sua estrutura tem que ter determinadas características para que ele interaja de maneira adequada com o receptor, onde se deseja que ele exerça seu efeito. Qualquer mudança estrutural, por menor que seja, como a substituição de um único grupo na molécula, pode fazer com que o composto mude completamente de propriedade.[12,16]

Os benzodiazepínicos e os barbitúricos agem como depressores do sistema nervoso central, interferindo nos receptores de GABA, que é o principal neurotransmissor inibitório. Apesar de não visualizarmos nenhuma semelhança estrutural entre os benzodiazepínicos e os barbitúricos, as conseqüências da ação deles no encéfalo são as mesmas, ou seja, eles fazem com que o receptor de GABA, um canal iônico de cloreto, se abra. Porém, a maneira

como estes compostos interagem com o receptor de GABA é diferente, parece que cada um liga-se em uma parte diferente do receptor, fazendo com que o canal se abra. Além disso, os benzodiazepínicos agem aumentando a freqüência da abertura do canal de GABA, enquanto os barbitúricos aumentam a duração de abertura do canal, conforme ilustrado no esquema da figura **4**.[11,13,16,18,19]

Figura 4 – Esquema que ilustra o modo de ação dos benzodiazepínicos e dos barbituratos no receptor de GABA.



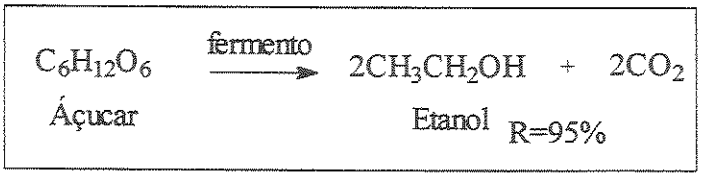
Além disso, os benzodiazepínicos também relaxam a musculatura, pois diminuem a possibilidade da amígdala mobilizar a divisão simpática do sistema nervoso vegetativo. Mas, apesar de serem eficientes, os benzodiazepínicos e os barbituratos podem causar dependência, por isto, deve-se tomar cuidado com a freqüência de seus usos.[20]

2. Álcool

Assim como os barbituratos e dos benzodiazepínicos, outras substâncias agem inibindo os neurônios do sistema nervoso central, como é o caso do álcool. O álcool etílico é uma droga de abuso legalizada e de uso popular. É encontrado em bebidas alcoólicas como cerveja, uísque, pinga, vodca, licores, entre outras.

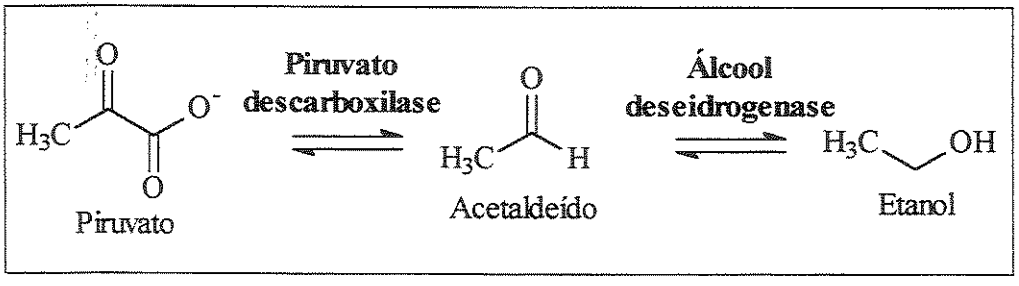
Como as bebidas alcoólicas podem ser fabricadas? Qual a diferença entre as bebidas que são destiladas e as que são fermentadas? O que o álcool faz no organismo? O etanol encontrado na forma de vinho deve-se a fermentação dos açúcares dos sucos de uva. A cerveja é fabricada através da fermentação alcoólica dos carboidratos presentes nos grãos de cereais, como a cevada. A fermentação se faz usualmente pela adição de "fermentos" à mistura de açúcares e de água, este fermento contém enzimas que promovem uma série de reações para a conversão do açúcar ao álcool e CO_2, conforme a figura **5**.[20-24]

Figura 5- Representação da reação de conversão do açúcar em etanol.



A glicose é primeiramente convertida em piruvato, através de uma série de reações, e o piruvato pode ser fermentado a etanol e CO_2, conforme ilustrado na figura **6**. A levedura e outros microorganismos são responsáveis pela fermentação da glicose. Neste processo o piruvato sofre descarboxilação para formar o acetaldeído, esta reação é catalisada por uma enzima denominada piruvato descarboxilase. O acetaldeído é então transformado em etanol, através de uma reação de redução catalisada pela enzima álcool desidrogenase.[22-24]

Figura 6- Representação da reação de conversão do piruvato em etanol.



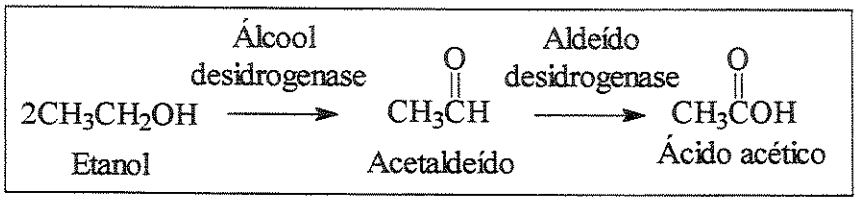
A piruvato descarboxilase está presente nas leveduras das cervejarias e padarias e em todos os organismos que fazem a fermentação alcoólica, incluindo algumas plantas. O

CO_2 produzido na descarboxilação do piruvato é o responsável pelo gás característico de algumas bebidas como, por exemplo, o champanhe. A álcool desidrogenase está presente em muitos organismos que metabolizam o álcool, incluindo o homem.[17,22-24]

A fermentação não leva à bebida com um teor alcoólico maior que 12-15%, pois as enzimas são desativadas em concentrações mais altas. Para se obter bebidas com este teor mais elevado, como por exemplo, uísque, pinga e a vodca, a solução aquosa deve ser destilada.[17]

De forma similar à fermentação, no organismo, o álcool é metabolizado por duas enzimas: a álcool desidrogenase, que catalisa a conversão do álcool em acetaldeído; e a aldeído desidrogenase, que catalisa a conversão de acetaldeído em ácido acético, confirme a reação da figura 7.[17,22-24]

Figura 7 – Reação do metabolismo do álcool.



O acetaldeído é um composto tóxico e é o principal responsável pela sensação de ressaca. Apesar do álcool trazer a sensação ao individuo que o ingere de ser um estimulante, este age como um depressor. As sensações e os efeitos comportamentais que o álcool etílico causa estão relacionados com a dose que o indivíduo consome. Porém, observa-se que ele afeta algumas sensações emocionais, pois ele reduz a ansiedade, aumenta a sociabilidade, a auto-estima, a desinibição, provoca uma sensação de alegria, de sedação, um certo relaxamento, sonolência, lentidão na fala, no movimento, além da redução da sensação de medo, o que pode fazer a pessoa correr riscos.[7,11]

O álcool pode alterar estas sensações emocionais, pois a exposição aguda altera a configuração dos lipídios da membrana, o que faz com que os receptores de GABA sejam abertos. Quando estes canais são abertos, o neurônio é inibido, o que resulta numa diminuição da atividade do sistema nervoso central, tal como ocorre com os benzodiazepínicos e com os barbituratos.[7,11,13]

Todos nós ficamos ansiosos, estressados ou sentimos medo em algum momento de nossas vidas. Por outro lado, outra sensação emocional que todas as pessoas têm é a tristeza. Mas, a tristeza permanente pode levar a depressão, o que gera grandes transtornos para a pessoa. Felizmente, a depressão, assim como a ansiedade, pode ser minimizada com o uso de determinados medicamentos como os antidepressivos. E é sobre este assunto que trataremos a seguir.

3. Depressão e antidepressivos

A tristeza é uma sensação emocional experimentada por todos. Quando ela é extrema, pode-se ter a chamada depressão, onde a pessoas apresenta sentimentos persistentes de tristeza, desamparo, desespero, desesperança e uma perda de interesse em fontes anteriores de prazer. Emoções negativas formam a essência da síndrome de depressão, mas podem também surgir muitos outros sintomas, como a redução de apetite e insônia.[2,3,13,20]

O indivíduo deprimido, geralmente, tem concentração, atenção e autoconfiança reduzidas; idéias de culpa e inutilidade, visões desoladas e pessimistas do futuro; idéias ou atos auto-lesivos ou de suicídio. Também são observados estados de ansiedade e irritabilidade.[2,13]

Além disso, a depressão também pode estar relacionada com o estresse e este afeta os neurônios que liberam dopamina, que está envolvida com as sensações de prazer e bem estar. É por isto, que após um estresse, como por exemplo, após pular de pára-quedas, ou antes de fazer algo importante, sentimos prazer![20]

Mas, o estresse quando prolongado pode gerar os distúrbios de ansiedade e aumentar a depressão. Acredita-se, inclusive, que o estresse pode até inibir o crescimento de novos neurônios que estariam sendo produzidos continuamente no cérebro e que seriam úteis para aprendizagem e a memória. As pesquisas que revelaram que novos neurônios são produzidos continuamente no encéfalo são recentes e ainda existe muito a ser investigado.[20]

Outro distúrbio emocional, não tão comum, mas que está associado com a depressão, é o maníaco-depressivo, onde, como o nome diz, a pessoa tem um episódio maníaco e outro depressivo. Num episodio maníaco, o humor da pessoa torna-se elevado,

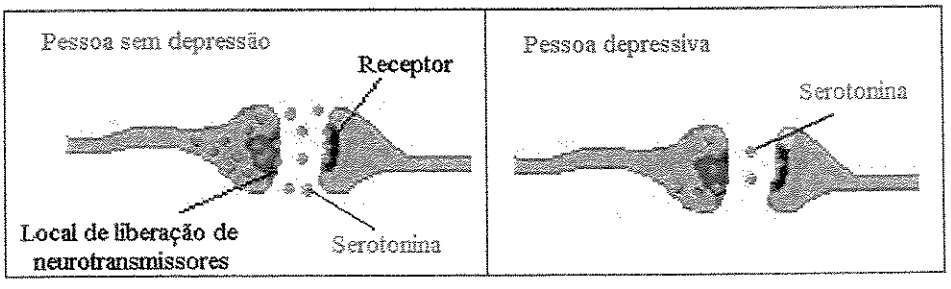
ela sente euforia, sua auto-estima aumenta muito, fica com um otimismo, energia e planos extravagantes, torna-se hiperativa e pode ficar dias sem dormir, fala rapidamente e muda muito de assunto, pois sua mente corre em velocidade vertiginosa. Seus julgamentos são, muitas vezes, debilitados e por isso, algumas pessoas apostam impulsivamente, gastam dinheiro freneticamente e ficam sexualmente arrojadas.[2]

No entanto, os períodos maníacos são acompanhados de inquietação e irritabilidade. Além disso, os julgamentos debilitados levam muitas vitimas a fazer coisas das quais vem depois se arrepender imensamente e, freqüentemente, após um episódio maníaco, a pessoa experimenta uma forte depressão.[2]

Embora uma gama de outras alterações bioquímicas possa contribuir para a depressão, as anormalidades que ocorrem nas sinapses dos neurônios que liberam a serotonina parecem desempenhar um papel principal, pois a maioria das drogas antidepressivas exercem seus principais efeitos nestas sinapses.[11,13]

Isto porque verificaram que medicamentes que agem como inibidores seletivos da recaptação da serotonina, diminuiriam a depressão. Além disso, verificou-se que a diminuição da quantidade deste neurotransmissor pode iniciá-la, pois alguns pacientes suicidas têm baixas concentrações dele, tal como está ilustrado no esquema da figura **8**.[2-5,11,13]

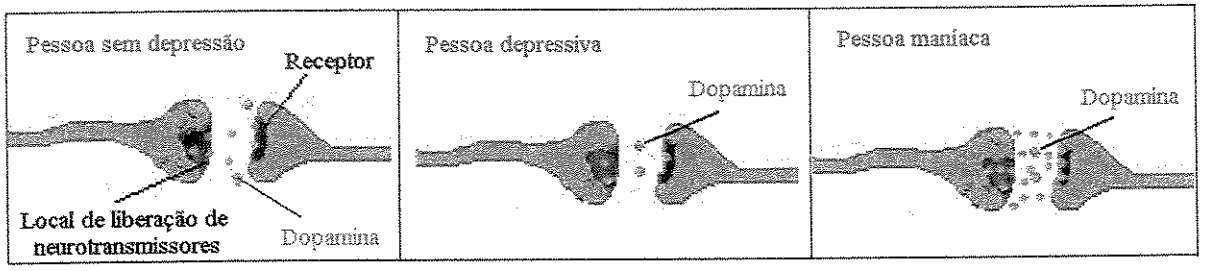
Figura 8 – Esquema que compara o que ocorre nas sinapses dos neurônios que liberam serotonina para uma pessoa sem e com depressão.



Os dados das pesquisas sugerem também que há uma possível redução da atividade dos neurônios que liberam dopamina na depressão e um aumento na fase maníaca, isto porque este neurotransmissor está muito envolvido com o prazer. Como a depressão se

caracteriza por uma diminuição do prazer, e como os neurônios que liberam serotonina estão conectados com os que liberam dopamina, quando há uma diminuição de serotonina no encéfalo, conseqüentemente, há uma diminuição de dopamina. Além disso, verificou-se que as drogas que reduzem as concentrações de dopamina estão associadas com sintomas depressivos e que as drogas que aumentam as concentrações de dopamina, como por exemplo, anfetamina, reduzem os sintomas depressivos. Estas diferenças são ilustradas na figura 9[2,20]

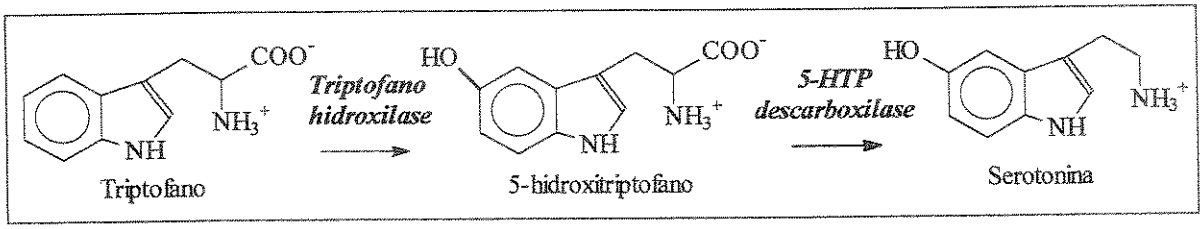
Figura 9 – Esquema que compara o que ocorre nas sinapses dos neurônios que liberam dopamina para uma pessoa sem distúrbios, para uma pessoa na fase depressiva e na fase maníaca.



Porém, o principal neurotransmissor envolvido com a depressão é a serotonina. A serotonina é sintetizada a partir do triptofano, numa reação que ocorre em duas etapas, na primeira o triptofano é convertido no 5-hidroxitriptofano e este intermediário dá origem a serotonina, conforme a figura **10**.[3-5]

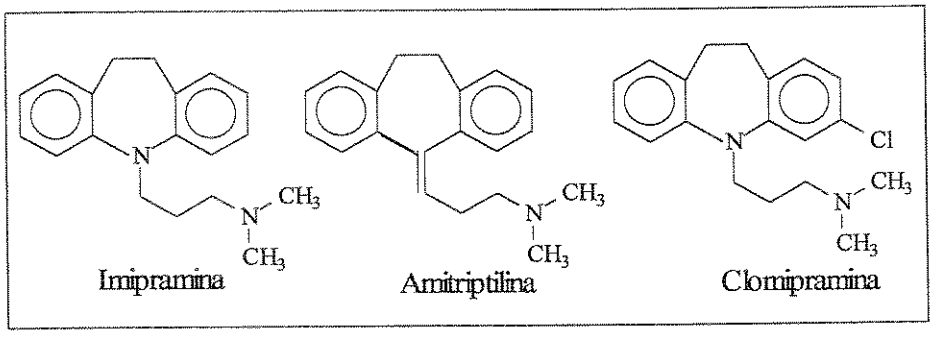
O triptofano, que é o aminoácido precursor da serotonina, quando ingerido faz com que aumente a quantidade de serotonina no organismo e por isso pode ser utilizado como antidepressivo. Além disso, os neurônios que liberam serotonina estão envolvidos com o comportamento emocional, a regulação do humor e com a sensação de prazer. Os antidepressivos, bem como a cocaína, o LSD e outros alucinógenos interferem nas sinapses destes neurônios.[2-5,11,25]

Figura 10- Síntese da serotonina (5-HTP).



Muitos antidepressivos utilizados comercialmente são substâncias tricíclicas, ou derivados delas. A imipramina, que é vendida com o nome de trofanil; a amitriptilina ou tryptanol e a clomipramina ou anafranil, são exemplos deste tipo de substância e suas estruturas estão ilustradas na figura 11.[10,25]

Figura 11- Estruturas das substâncias tricíclicas utilizadas como antidepressivos.

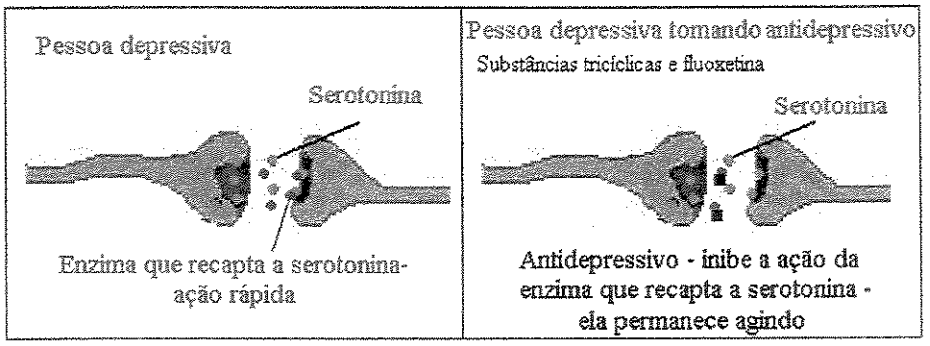


Quando estas substâncias são ingeridas por pessoas que não têm depressão, elas inicialmente produzem tranqüilidade e, freqüentemente, aumentam a sensação de ansiedade. Com a ingestão contínua, a pessoa pode apresentar distúrbios do pensamento e se tornar confusa. No entanto, quando ingeridas por pessoas deprimidas, ao invés da confusão mental, estas pessoas são capazes de considerar seus problemas, geralmente sentem-se melhor e apresentam elevações do humor.[2,11,13,25]

No encéfalo, as substâncias tricíclicas são capazes de inibir a recaptação da noradrenalina e da serotonina. Normalmente, após o neurotransmissor interagir com o receptor, ele é rapidamente removido para que um novo ciclo de transmissão ocorra.

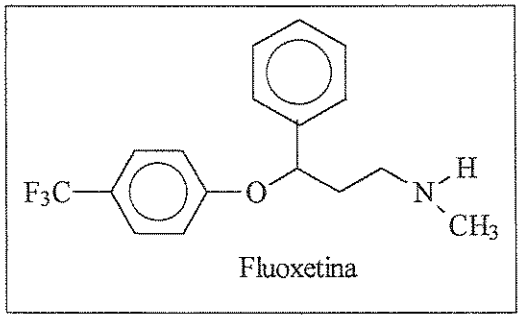
Quando não são recaptados permanecem ligados aos receptores e, portanto continuam agindo, tal como está ilustrado no esquema da figura **12**.[3-5,11]

Figura 12 – Esquema que ilustra ação desses antidepressivos nos neurônios que liberam serotonina.



Muitos outros antidepressivos são utilizados, dentre eles podemos citar a fluoxetina, também conhecida como prozac, cuja estrutura está ilustrada na figura **13**. Esta droga é estruturalmente diferente das outras substâncias, mas possui uma cadeia alifática com uma amina secundária terminal, semelhante a das substâncias tricíclicas. Como, provavelmente, age do mesmo modo, seria esta cadeia que inibe a recaptação da serotonina e da noradrenalina. No entanto, vale lembrar que ainda não se tem certeza deste mecanismo de ação dos antidepressivos.[10,26]

Figura 13- Estrutura da fluoxetina.



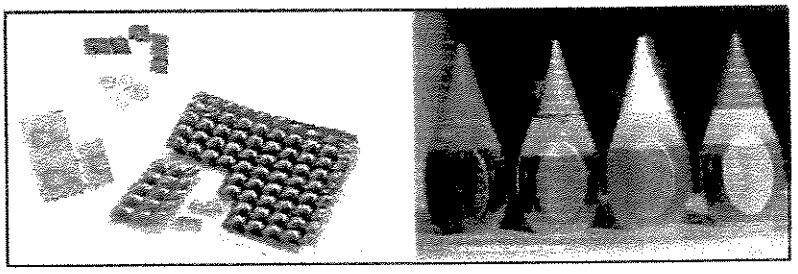
Fluoxetina

Como os antidepressivos agem alterando os neurônios que liberam a serotonina, e como estes estão conectados com os que liberam dopamina, quando a serotonina fica agindo por mais tempo, aumenta-se a liberação de dopamina. No entanto, existem outras drogas que agem nos neurônios que liberam estes neurotransmissores, tais como as perturbadoras e estimulantes que discutiremos a seguir.

4. Alucinógenos: substâncias perturbadoras

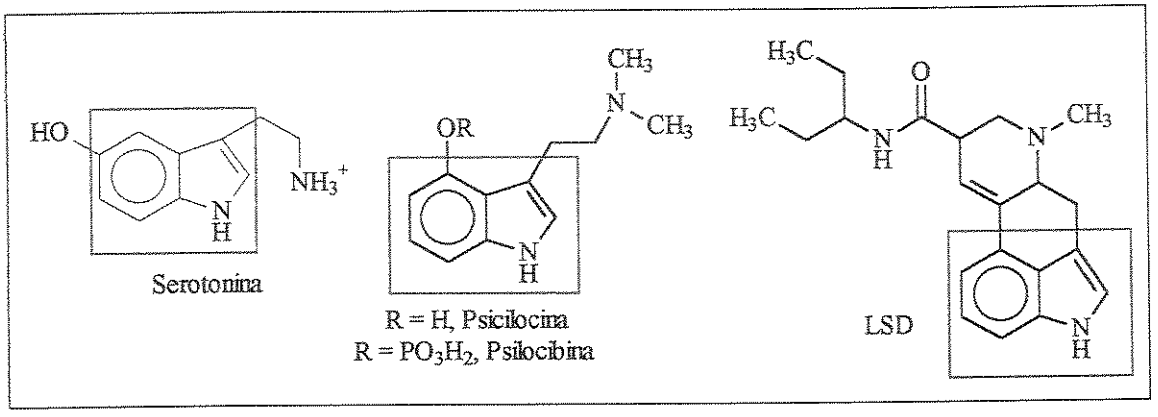
Existem muitas substâncias que também agem nas sinapses dos neurônios que liberam a serotonina, tais como a psilocibina, psilocina e o LSD. Estas drogas são chamadas de perturbadores, pois induzem a uma desordem mental e provocam alucinações. Alguns tipos de cogumelos apresentam propriedades alucinógenas e são usados principalmente entre os indígenas de alguns países da América Latina, sendo que o principal é o *Psylocibe mexicaneim*, que contém os alcalóides psilocibina e a psilocina. Por outro lado, o LSD é uma substância sintética feita por Albert Hoffmann nos laboratórios Sandoz em 1943. Quando Hoffmann o sintetizou não imaginava que fosse obter uma das drogas alucinógenas mais potentes. Ele é utilizado na forma de pequenas pastilhas, mas também é utilizado na forma líquida, tal como ilustrado na figura **14**.[7-12]

Figura 14 – Ilustração do LSD na forma de pequenas pastilhas e na forma líquida.



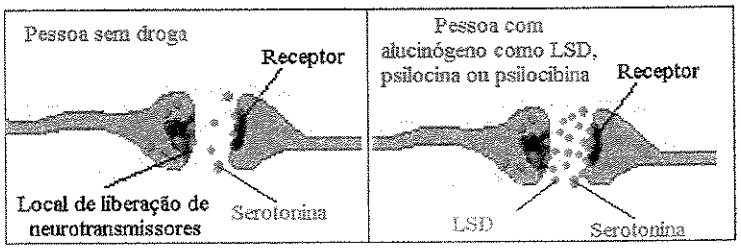
As estruturas do LSD, da psilocina e da psilocibina possuem anéis similares ao da serotonina, tal como está ilustrado na figura **15**.

Figura 15- Estrutura dos alcalóides alucinógenos e da serotonina.



A psilocibina, psilocina e o LSD possuem atividade alucinógena, pois interagem especificamente com os receptores da serotonina, pois estas substâncias possuem dois anéis similares ao deste neurotransmissor, conforme destacado na figura **15**. Desta forma, agem como uma agonista da serotonina, tal como está ilustrado na figura **16**.[11,13]

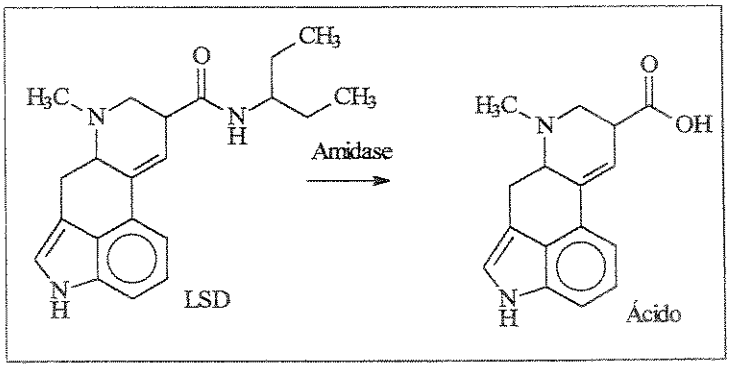
Figura 16 – Esquema que ilustra o modo de ação do LSD nas sinapses dos neurônios que liberam serotonina.



Além disso, o LSD não só causa alucinação quando a pessoa a ingere, mas também podem causá-las depois de algum tempo. Como isto é possível? O que acontece nestes casos? Uma explicação para estes efeitos decorre da natureza amídica, que tem maiores propriedades hidrofóbicas, o que favorece sua passagem pela barreira hemato-encefálica, que é lipofílica.[13]

Por outro lado, algumas enzimas como as amidases, presentes no sistema nervoso central, podem hidrolisar a função amida, a transformando em ácido, o que faz com que esta substância não consiga atravessar a barreira, tal como está ilustrado na figura 17.

Figura 17 – Ilustração da conversão da função amida do LSD em função ácido carboxílico.



Por isto, esta substância se acumula no sistema nervoso, pois não consegue sair dele, o que favorece os aparecimentos dos efeitos alucinógenos tempos depois do uso da droga. Além disso, a enzima que degrada a serotonina não consegue degradar o LSD, o que também contribui para seu acúmulo e potencializa os efeitos que ele causa.[13]

Além das substâncias alucinógenas, existem muitas outras que agem como estimulantes afetando sinapses de outros neurônios, tais como será discutido a seguir.

5. Anfetaminas e outras substâncias estimulantes

Geralmente, as sensações emocionais de medo e os distúrbios como ansiedade, depressão, fobias e o pânico, são desagradáveis, e a pessoa visa eliminá-las. Por outro lado, existem aquelas que visam ser repetidas como as que buscam o prazer. Como tendem a ser repetidas, a pessoa cria uma motivação para que ela aconteça de novo.

Por isto, o prazer é uma sensação emocional que está relacionada com recompensas. Porém, ele pode produzir a compulsão de repetir exageradamente um comportamento, ao ponto até mesmo de causar uma dependência dele, que pode ser física ou psicológica. Isto é

o que ocorre com muitos vícios como a dependência das drogas, do jogo ou até mesmo do sexo.[3-5]

O hipotálamo comanda os comportamentos motivados, monitorando o nível dos hormônios que irá liberar. Determinou-se que alguns neurônios do hipotálamo e de outras áreas do encéfalo aumentam a taxa de disparo de potenciais de ação quando os estímulos são prazerosos, e diminuem quando são aversivos. Além disso, verificou-se também que estes neurônios eram capazes de disparar potencias de ação, antes da pessoa receber o estímulo, ou seja, respondiam a expectativa do prazer.[5]

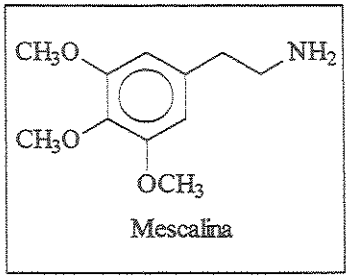
A descoberta destes neurônios foi de grande importância, pois se atribuíram a eles as disfunções que podem resultar na dependência de drogas e outros distúrbios emocionais. Em estudos com as diversas drogas de abuso, verificaram que muitas delas agem em neurônios que liberam dopamina, e que o seu principal efeito era de aumentar a liberação deste neurotransmissor.[3-5]

Então, estes neurônios foram considerados os grandes responsáveis pelos comportamentos motivados, como comer, beber, ingerir drogas, buscar prazer, regular a temperatura corporal e fazer sexo. Ou seja, quando a pessoa tem prazer, a atividade dos neurônios que liberam dopamina é aumentada.[3-5]

Outros estudos indicam que a serotonina também está envolvida com o prazer e com o humor. Pois, verificou-se que quando a pessoa ingere algumas drogas que aumentam a atividade dos neurônios que liberam serotonina, além de ter a depressão diminuída, há um aumento do prazer. Além disso, ela também está envolvida com a redução da agressão. Os neurônios que liberam serotonina e que estão relacionados com estes comportamentos estão localizados no tronco encefálico e se comunicam com neurônios de outras áreas do encéfalo, tal como o hipotálamo e várias estruturas do sistema límbico.[3-5]

Muitas drogas atuam nas sinapses destes neurotransmissores, afetando, portanto, estas sensações emocionais, bem como outros comportamentos. A mescalina, por exemplo, que foi isolada em 1896, é o principal componente químico do peiote, uma considerada bebida sagrada pelos astecas. Esta bebida é preparada a partir de cactos e é muito utilizada em cultos religiosos devido às potentes propriedades alucinógenas que possui. A estrutura da mescalina está ilustrada na figura **18**.[11,13]

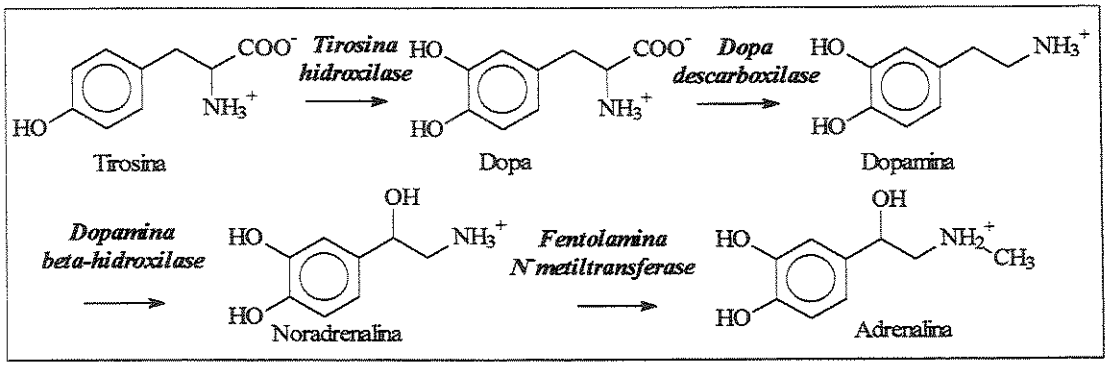
Figura 18 – Estrutura da mescalina.



A mescalina tem o padrão estrutural parecido com os dos neurotransmissores de dopamina, adrenalina e noradrenalina, e, portanto, atua como agonista destes receptores no sistema nervoso central.[13]

A dopamina, noradrenalina e adrenalina são aminas e possuem estruturas similares, pois são sintetizadas a partir do mesmo aminoácido, a tirosina. A tirosina é primeiramente convertida para o composto dopa, que é então convertida em dopamina, que por sua vez, pode ser transformada em noradrenalina, que dá origem à adrenalina, conforme a reação da figura **19**.[3-5]

Figura 19- Síntese da dopamina, noradrenalina e adrenalina.



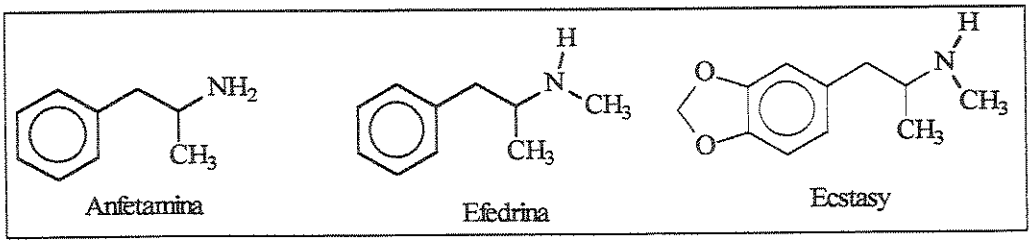
Estes neurotransmissores são encontrados em regiões envolvidas na regulação do movimento, humor, atenção e das funções viscerais. A dopamina, conforme já mencionamos, está envolvida com os comportamentos motivados, como a fome, a sede, o sexo e a busca do prazer. Por outro lado, a noradrenalina é liberada pelos neurônios da

divisão simpática, e está envolvida com a dilatação da pupila, a aceleração dos batimentos cardíacos, o estimulo da produção e a liberação de glicose, a inibição da digestão, o relaxamento da bexiga e o estímulo do orgasmo.[3-5]

É por isto, que quando são ingeridas substâncias estimulantes como a mescalina estes efeitos são aumentados. Além disso, a mescalina originou as anfetaminas de emprego terapêutico, bem como as ilegais como o ecstasy, que foi desenvolvido como supressor do apetite e que começou a ser empregado como alucinógeno na década de 80.[13]

Os derivados da anfetamina são utilizados como medicamentos, vendidas sob os nomes de benzedrina, dexendrina, dexamil, pervitin, hipofagin, desobesi, inibex e dasten. Por outro lado, segundo os usuários de ecstasy, esta droga possui um poder afrodisíaco, além de provocar desorientação, prazer intenso, perda de apetite e aumento da temperatura corporal. Combinadas com bebidas alcoólicas, elas também podem causar alucinações. As estruturas da anfetamina e de seus derivados, efedrina e ecstasy estão na figura **20**.[8,11,27-30]

Figura 20 - Estruturas da anfetamina, da efedrina e do ecstasy.



As anfetaminas são estimulantes e exercem seus efeitos sobre os neurônios que liberam dopamina, adrenalina e noradrenalina, fazendo com que eles sejam liberados com uma maior freqüência. O ecstasy, por sua vez, além de estimulante é alucinógeno, pois além de estimular a liberação da dopamina e da noradrenalina, também estimula a liberação da serotonina.[11]

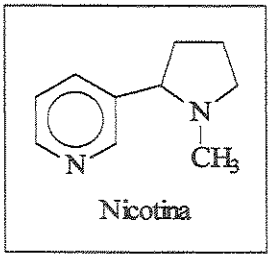
6. Nicotina

A nicotina é uma outra droga estimulante. É um alcalóide extraído das folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) e está presente nos cigarros. Ela pode causar sensações de

diminuição da fome, de cansaço e de tédio, além de promover momentaneamente uma melhora da capacidade física e do raciocínio e causar prazer.[7]

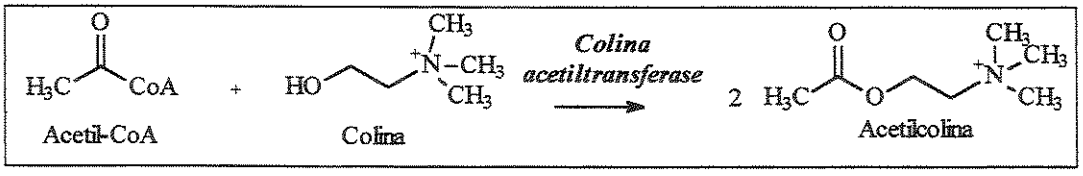
Sua estrutura está ilustrada na figura **21**.[7]

Figura 21- Estrutura da nicotina.



A nicotina é capaz de desencadear uma resposta biológica similar a acetilcolina, pois interage com seus receptores. A acetilcolina (ACo) é um neurotransmissor de amina, sendo sintetizada pela transferência do grupo acetil da acetilacetilcolina, para a colina, conforme ilustrado na figura **22**.[3-5]

Figura 22- Síntese da acetilcolina.



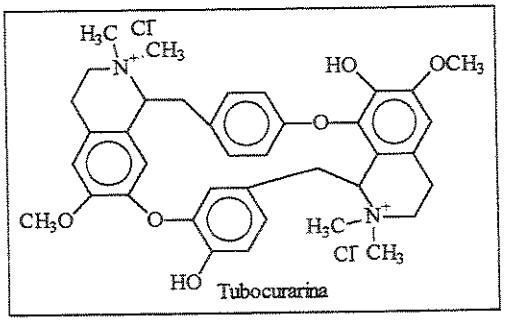
A acetilcolina é o único neurotransmissor que se comunica diretamente com músculos voluntários, por isto, cada movimento que nós fazemos depende da sua liberação, que também parece contribuir para os processos de atenção, do despertar e da memória.[3]

No pH fisiológico, o par de elétrons do nitrogênio do anel metilpirrólico da nicotina se liga a um próton, desta forma ela fica com um grupo amônio quaternário, tal como a acetilcolina, por isto, a nicotina consegue interagir com os receptores da acetilcolina, como um agonista.[30,31]

No entanto, ela age, principalmente, sobre os receptores da acetilcolina do músculo, por isto provoca uma sensação momentânea de aumento da capacidade física; mas também age nos receptores de acetilcolina presentes no sistema nervoso central, por isto a melhora no raciocínio. A nicotina também provoca a liberação de outros neurotransmissores excitatórios como a noradrenalina e adrenalina.[10]

Existe um outro tipo de composto que interage com os receptores de acetilcolina, a tubocurarina, o componente ativo do curare, um veneno utilizado pelos índios da Amazônia. Esta molécula, cuja estrutura está ilustrada na figura 23, possui grupos amônio quaternário, mas age bloqueando os receptores de acetilcolina nos músculos, desta forma deixa o receptor inativo, bloqueando também a transmissão de potenciais de ação, provocando paralisia, inclusive a paralisia dos músculos envolvidos na respiração, o que pode ser fatal. Por isto, a tubocucarina age como um antagonista, ou seja, ela se opõe a ação da substância endógena, neste caso o neurotransmissor, mas poderia ser um hormônio ou outra substância.[3-5]

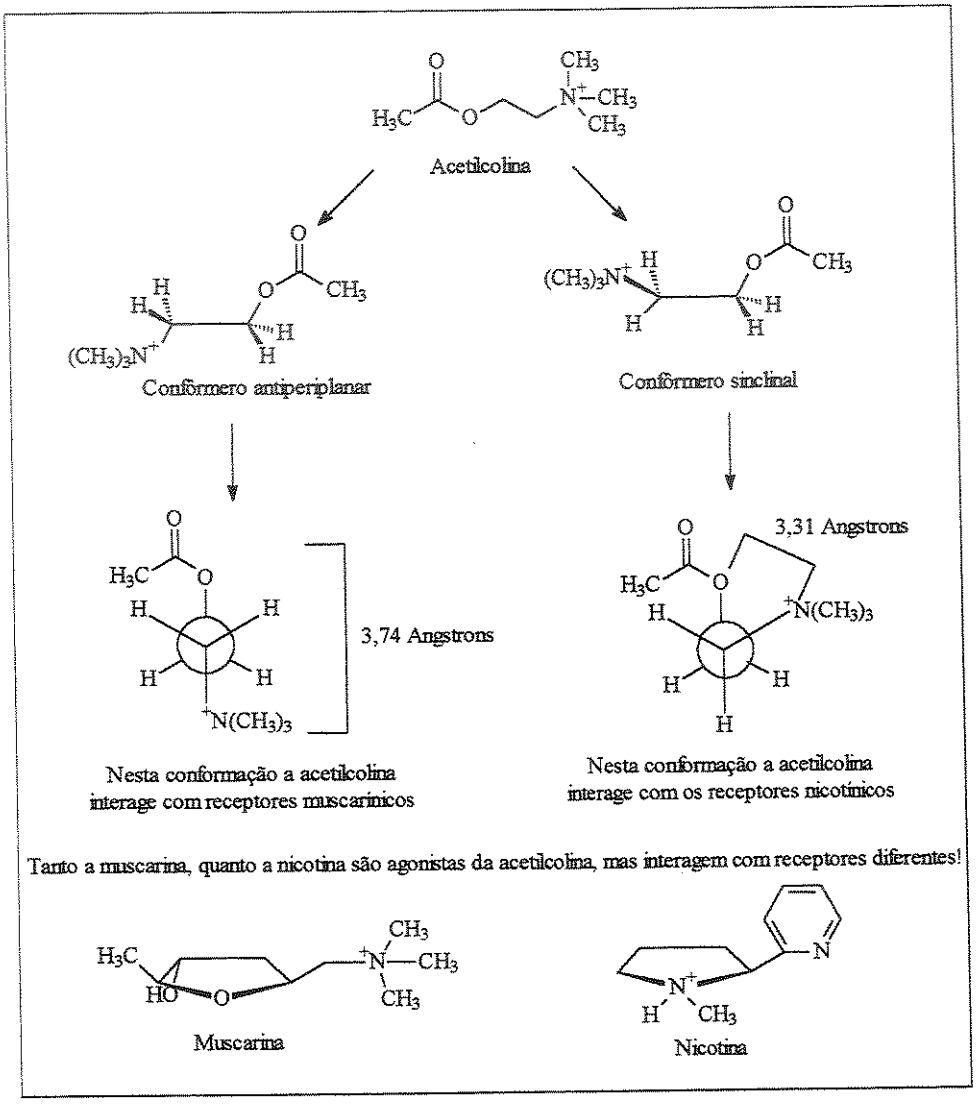
Figura 23- Estrutura da tubocurarina.



A acetilcolina, por sua vez, é capaz de sensibilizar dois subtipos de receptores: os muscarínicos, que estão localizados no sistema nervoso periférico, e os nicotínicos, que estão no sistema nervoso central. Os diferentes efeitos biológicos que esse neurotransmissor provoca são decorrentes de interações que envolvem diferentes arranjos espaciais dos grupos acetato e amino quaternário com o receptor. Por exemplo, eles podem, preferencialmente, adotar uma conformação de afastamento máximo, conhecida como

antiperiplanar; ou adotar conformações onde estes grupos apresentam um ângulo de 60° entre si, conhecidas como sinclinais, tal como ilustrado na figura **24**.[12]

Figura 24 – Conformações da acetilcolina: antiperiplanar e sinclinal.



Verificou-se que a muscarina é reconhecida por um receptor e que a nicotina é reconhecida por outro. Desta forma, a acetilcolina deveria mudar de conformação para se adaptar a estes receptores, assim, a muscarina seria um agonista dos receptores em que a nicotina se liga na conformação antiperiplanar e a nicotina seria o agonista da nicotina nos receptores em que ela se liga na conformação sinclinal.[13]

A nicotina causa uma rápida dependência, pois é bem tolerada pelo organismo! Todas as outras drogas mencionadas também causam dependência. Mas, o que é a dependência? Esta questão será discutida na próxima parte do texto.

- **Dependência química**

Em geral, as diversas drogas de abuso, tais como as substâncias que discutimos, apresentam como característica comum o fato de causarem dependência, apesar de não agirem nos mesmos sistemas de neurotransmissores. Por exemplo, a cocaína, age principalmente nos neurônios que liberam dopamina e noradrenalina; a nicotina age principalmente nos neurônios que liberam a acetilcolina; já o LSD age nos neurônios que liberam serotonina e assim por diante. Por isto, cada uma destas drogas produz sensações emocionais e comportamentos diferentes. No entanto, todas elas agem nos neurônios de partes do encéfalo envolvidos com as emoções, a motivação e o comportamento, que neste caso é o comportamento de busca da droga, que leva à dependência.[2,5,8,9,10]

No encéfalo, foi identificada uma área do hipotálamo, cujos neurônios se conectam com outras partes do cérebro e que liberam dopamina. Sugere-se que estes neurônios estejam envolvidos com todos os comportamentos motivados, tais como: beber, comer, regular a temperatura corporal e a busca pelo prazer. Esta busca pelo prazer é que está relacionada com o vício e com a dependência. As drogas, geralmente, prolongam a ação da dopamina em seus receptores ou estimulam sua liberação.[3-5]

O mecanismo de como a dependência ocorre ainda não está completamente desvendado, mas há evidencias de que há uma redução da liberação natural da dopamina, depois que a pessoa tem uma tolerância a uma determinada droga. Isto faz com que ela consuma cada vez mais droga, para estimular a liberação da dopamina e ter o efeito desejado. A pessoa passa então a ingerir uma quantidade cada vez maior de droga, e quando menos imagina, já se tornou um dependente.[5]

Por ser uma substância estranha, a droga pode alterar as informações enviadas ao cérebro, alterando as sensações. Além disso, o organismo considera como um tipo de veneno qualquer droga que ingere. Vários órgãos, principalmente, o fígado e os rins, tentam eliminar a droga, antes que ela cause algum dano. Mas, o consumo de drogas em longo

prazo, força o organismo a mudar para se adaptar. Por isso, o organismo começa a tolerar os efeitos da droga, que parece enfraquecer a cada dose sucessiva, aí, então, para obter os mesmos efeitos, é necessário que o usuário aumente a dosagem.[9]

Desta forma, o organismo adquire uma certa tolerância as drogas, que pode se dar de várias maneiras. Por exemplo, o cérebro pode aprender a compensar os efeitos da droga, utilizando neurônios que não foram afetados; por outro lado, também a droga pode acabar modificando a comunicação química entre os neurônios; além disso, pode acontecer da pessoa se tornar menos sensível à droga, mas a medida que ela destrói certos tecidos e/ou com o envelhecimento, ocorre uma reversão súbita da tendência e, conseqüentemente, a pessoa fica muito mais sensível a droga. Este último tipo de tolerância ocorre muito com os alcoólatras, pois a medida que o fígado é destruído, há a perda da capacidade de metabolizar o álcool, por isto, ele começa a ser transportado pelo seu corpo de maneira inalterada, chegando mais rapidamente ao cérebro.[9]

Pode ocorrer também do organismo se adaptar quase instantaneamente aos efeitos danosos da droga. No caso da nicotina, por exemplo, a tolerância e adaptação começam a se desenvolver com a primeira tragada. Quando a pessoa já está viciada e já possui uma certa tolerância às drogas, a forma como seu corpo funciona já está alterada. Por exemplo, as drogas podem fazer com que o organismo produza um excesso de enzimas que a metabolizam, ou pode deixar de produzir certos neurotransmissores. Por isto, quando a droga é retirada subitamente, o organismo tenta restaurar seu equilíbrio, mas já está alterado, por isto as crises de abstinência são tão fortes.[9]

Quando se retira a droga de um dependente, seus neurônios já não liberam a quantidade natural de dopamina que deveriam liberar, pois isto era feito pela droga, como conseqüência, há uma diminuição da quantidade dela no encéfalo, o que deixa o viciado desesperado.[9]

As pesquisas nesta área ainda são muito recentes, então, muito ainda será descoberto e talvez o homem nunca consiga realmente descobrir como funciona o cérebro e, conseqüentemente, as sensações emocionais. A maioria destas pesquisas envolve o uso de drogas em animais, a determinação de áreas afetadas no encéfalo por técnicas como Ressonância Magnética Nuclear e Tomografia, bem como a análise das lesões cerebrais devido ao uso de drogas, traumatismos ou doenças neurológicas. As drogas são e sempre

foram muito importantes para entender o mecanismo exato do funcionamento do organismo humano, em todos os seus aspectos, comportamentais, fisiológicos e principalmente neurológicos.

• Considerações finais

Este capítulo é uma complementação e uma aplicação dos conceitos discutidos nos capítulos anteriores "*Neuroquímica e Sensações*" e *"Dor: Sensação Boa ou Ruim"*. Este texto, como todos os outros que já apresentamos, traz uma discussão contextualizadora inicial sobre os temas abordados, que pode ser utilizada em sala de aula para motivar os alunos para a apresentação do tema proposto e trazer conceitos e aplicações diferentes para as aulas de química. Além disso, também é importante para sua formação pessoal e profissional, já que envolve um assunto atual e constantemente debatido na imprensa.

Como o assunto deste texto é polêmico e de conhecimento das pessoas em geral, é possível adaptar este texto para o ensino médio, onde poderá ser feito um trabalho, pelo professor, de conscientização e de envolvimento social. Além disso, os alunos, freqüentemente, já conhecem algo sobre o tema proposto, uma vez que todas as pessoas têm emoções e que as substâncias utilizadas como drogas são comentadas cotidianamente pelos meios de comunicação. Por isto, as aulas poderão iniciar-se com as discussões dos próprios alunos, que poderão, inclusive, procurar informações antes do professor apresentar e discutir os conteúdos.

Este texto apresenta interdisciplinaridade entre a química e diversas áreas do conhecimento, tais como: psiquiatria, psicologia, neurologia, medicina e farmacologia. Porém, há um aprofundamento maior nas estruturas e interações moleculares que ocorrem entre as substâncias discutidas e os receptores envolvidos, bem como as alterações deste funcionamento.

Como este texto é mais voltado para discussões da área da bioquímica e da química orgânica, foi desenvolvido para ser utilizado em aulas destas disciplinas, visando complementar as discussões já existentes, abordadas pelos materiais didáticos tradicionais, bem como com a discussão das funcionalidades, em termos dos grupos presentes nas moléculas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

Iniciamos este trabalho enfocando, de maneira geral, os processos de educação, ensino e aprendizagem, bem como os aspectos do ensino de ciências, em especial, o ensino de química. Concluímos que é necessário haver uma reformulação no ensino superior de química, o que já é previsto pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química e pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação. Nesta reformulação deve-se tornar o ensino mais abrangente, mais voltado para o cotidiano do aluno, mais contextualizado e menos especializado; para tal, tanto os professores, quanto as instituições devem incorporar as idéias de interdisciplinaridade.

Além disso, o ensino deve ser mais voltado para o estudante, pois como o objetivo do professor é fazer com que o estudante aprenda, não há lógica em o professor ou o conteúdo serem os centros do processo. Acreditamos que professor e o estudante devam estar unidos pelo conteúdo. Assim, apesar do enfoque ser direcionado para o estudante, ele tem que ter consciência de que é ele que vai usufruir e construir sua própria aprendizagem.

Desta forma, a opinião dos estudantes pode ser mais valorizada, bem como suas concepções, experiências e realidades. O professor, por sua vez, não deve ser somente visto como detentor do conhecimento, mas como um orientador que tem como objetivo transformar para melhor a realidade do aluno.

Quanto ao currículo do ensino superior de química, concluímos que, muitas vezes, é enfatizado o volume de informações, e não são valorizados como estes conteúdos são abordados. Para melhorá-lo não é necessário diminuir o volume de informações, mas sim melhorar a forma de abordá-las, sempre visando a explicação de conceitos interligados com o cotidiano do estudante e seu futuro profissional, além de relacionar com conteúdos de outras áreas do conhecimento, tal como sugerem as idéias de interdisciplinaridade.

Através de uma atitude interdisciplinar, o professor poderá enriquecer suas aulas, o que poderá estimular os alunos e o próprio professor a explorar novos e diferentes conhecimentos, não só aqueles apresentados nos currículos tradicionais de química. No ensino de química, a interdisciplinaridade é uma forma de aproximar os conteúdos à realidade do aluno, de aplicar as teorias e conteúdos básicos, facilitando assim a assimilação destes conteúdos.

Inicialmente, nos perguntamos: como desenvolver uma perspectiva interdisciplinar na elaboração de um material didático, bem como em disciplinas voltadas para o ensino de química em nível superior? Será que isto é possível?

Foi partindo da idéia de inserir a interdisciplinaridade no Ensino Superior de Química, que desenvolvemos o material didático cujo tema principal foi a *"Química das Sensações"*. Concluímos que um material deste tipo pode explicar alguns conteúdos de maneira não departamentalizada ou seccionada, ao contrário do que, habitualmente, encontramos nos livros didáticos tradicionais. No entanto, este material não tem como objetivo, explicar de maneira detalhada as teorias e os conceitos; por isto, concluímos que a maneira mais adequada de utilizá-lo é de forma complementar aos textos já existentes.

O modo como o material pode ser utilizado, depende, exclusivamente, do professor, que selecionará os conteúdos de suas aulas. Este material tem como objetivo principal ilustrar uma nova maneira de trabalhar estes conceitos em sala de aula, com a finalidade de produzir uma aprendizagem mais significativa aos alunos. Além disso, também pode ser útil para melhorar sua formação acadêmica e, conseqüentemente, profissional.

Concluímos que este material representa apenas um exemplo de como alguns conceitos da química podem ser relacionados com os de outras áreas do conhecimento, como a física e a biologia, mas que é necessário produzir muito mais materiais deste tipo para que o ensino superior de química se torne, realmente, mais interdisciplinar e menos distante da realidade do aluno.

Concluímos também que apesar de possível, não é fácil elaborar um material didático interdisciplinar. Primeiramente, porque para elaborar um material deste tipo é necessário garimpar a literatura, não só a específica de química, mas as de várias áreas do conhecimento. Como são divulgadas muitas informações, é difícil se manter atualizado nas várias áreas do conhecimento. Também existe uma dificuldade de linguagem, pois cada área tem seus termos técnicos específicos e especializados, por isto, é necessário antes de tudo aprendê-las. Depois de encontrar as informações, é necessário digeri-las e integrá-las de maneira interdisciplinar, neste sentido é necessário saber onde parar e ter consciência que o objetivo é não se especializar, como a tendência que temos devido a nossa formação.

Por outro lado, é muito gratificante elaborar um material deste tipo, pois para tal é necessário conhecer, além de conceitos e teorias de várias áreas do conhecimento, pessoas

especializadas nelas. Assim, é preciso saber integrar as informações de pessoas muito diferentes, com formações diferentes e modo de pensar diferentes.

O tema escolhido *"Química das Sensações"* é especialmente estimulante, além de ser abrangente e permitir muitas discussões em sala de aula. Além disso, é um tema cujas investigações mais detalhadas são recentes; por isto, a ciência ainda descobrirá muito a respeito delas e, talvez, esta seja uma motivação para os alunos conhecerem e acompanharem as pesquisas sobre este tema.

Com este trabalho mostramos que é possível elaborar materiais didáticos para o ensino de química, não só para o nível superior, mas também para o médio, que tenham características interdisciplinares, que são almejadas pela legislação educacional vigente. Desta forma, é possível tornar o ensino de química mais abrangente.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, parte deste material foi utilizada e testada em mini-cursos, aulas de química geral no ensino superior, no médio e no curso para formação de professores Teia do Saber, da Secretaria Estadual de Educação. No entanto, não realizamos nenhum estudo sistematizado e quantitativo sobre a aplicação deste material. Apenas observamos que, geralmente, os alunos reclamavam do fato de não terem aprendido através deste tipo de abordagem, narrando que se tivessem aprendido desta forma, os conceitos seriam assimilados mais facilmente e eles teriam se interessado e valorizado mais o que estavam aprendendo. Além disso, falaram que gostariam de conhecer mais sobre os assuntos abordados. Isso mostra que o trabalho proposto teve uma aceitação muito boa por parte dos alunos.

Os alunos dos cursos de Química, Engenharia Química e de Alimentos da UNICAMP, que tiveram a oportunidade de conhecer esta abordagem, valorizaram também a contribuição desta na sua formação, pois a partir deste tipo de proposta conheceram melhor as várias áreas de atuação de um profissional de química e conseguiram estabelecer relações entre elas e os conceitos aprendidos durante a graduação. Isso representa uma situação contrária àquela verificada entre os egressos dos cursos de graduação que, normalmente, imaginam que "tudo o que aprenderam, não se adequa à sua atividade profissional". O que observamos durante as aplicações deste material, é que os alunos narravam que saberiam onde aplicar os conceitos aprendidos.

Por outro lado, os professores questionavam que era difícil ministrar aulas deste tipo, pois não tiveram uma formação adequada para tal; além disso, não sabiam onde pesquisar para realizar a "tal da interdisciplinaridade". Eles comentavam também que era mais fácil combinar com os professores de outras áreas para dar aulas sobre um mesmo tema. Isto demonstra que há uma carência muito grande de materiais didáticos interdisciplinares, tanto no ensino superior, quanto no ensino médio.

Acreditamos ainda que escolher um tema e pedir para que profissionais de diversas áreas o apresentem em aulas, não é uma forma de ensino interdisciplinar, pois não são estabelecidas relações entre os conceitos destas áreas. Isto pode fazer com que o aluno fique ainda mais confuso, imaginando que uma abordagem é totalmente desvinculada da outra, ficando muito longe da interdisciplinaridade desejada.

BIBLIOGRAFIA

Introdução

1. Alves, R.; *A Alegria de Ensinar*, 2ª ed, Papirus: Campinas, 2000, pág 93.
2. Morais, R.; *Filosofia da Ciência e da Tecnologia*, 5ª ed, Papirus: Campinas, 1988, cap. 1.
3. Aranha, M. L. A.; Martins, M. H. P.; *Filosofando, Introdução à Filosofia*, Moderna: São Paulo, 1986, cap. 10-17.
4. Vicentino, C.; *História Geral*, 8ª ed, Editora Scipione: São Paulo, 1997.
5. Chaui, M.; *Convite à Filosofia*, 12ª ed, Ática: São Paulo, 2002, unidade 7, pág. 247-285.
6. Maar, J. H.; *Pequena História da Química, dos Primórdios a Lavoisier*, Papa-Livro: Florianópolis, 1999, cap. 7-9.
7. Cherétien, C.; *A Ciência em Ação*, Papirus: Campinas, 1994, cap. 1.
8. Chassot, A.; *A Ciência Através dos Tempos*, Editora Moderna: São Paulo, 1994.
9. Carvalho, M. C. M.; *Construindo o Saber*; Papirus: Campinas, 1988, cap. I, II e III.
10. Nardi, R.; *Questões Atuais no Ensino de Ciências*; Escrituras: São Paulo, 2002, cap.1.
11. Parente, L. T. S.; *Bachelard e a Química no Ensino e na Pesquisa*; UFC: Fortaleza, 1990, cap. 1.
12. Castilho, D. L.; Silveira, K. P.; Machado, A. H.; *Química Nova na Escola* **1999**, *9*, 14-17.
13. Chassot, A.; *Alfabetização Científica, Questões e Desafios para a Educação*, 2ª ed, Inijuí: Ijuí, 2000, pág 31-132, 191-246.
14. Caniato, R.; *Consciência na Educação*, Papirus: Campinas, 1987, pág. 19-26 e 43-70.
15. Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E.; Scott, P.; *Química Nova na Escola* **1999**, 9, 31-36.
16. Ferreira, A. B. H.; *Novo Dicionário Aurélio, da Língua Portuguesa*, 2ª edição, Nova fronteira: São Paulo, 1986.
17. Brasil; Ministério da Educação; Conselho Nacional de Educação; *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*; Lei nº9394/96 de 20 de dezembro de 1996.
18. Bordenave, J. D.; Pereira, A. M.; *Estratégias de Ensino-Aprendizagem*, 13ª edição, Vozes: Petrópolis, 1993, pág 15-70.
19. Witter, G. P.; Lomônaco, J. F. B.; *Psicologia da Aprendizagem*, EPU: São Paulo, 1984, pág. 1-7.
20. Coll, C.; Palácios, J.; Marchesi, A.; *Desenvolvimento Psicológico e Educação*, Artes Médicas: Porto Alegre, 1996, pág 25-33.
21. Sisto, F. F.; Oliveira, G. C.; Fini, L. D. T.; *Leituras de Psicologia para a Formação de Professores*, Vozes: Petrópolis, 2000, cap 3.
22. Klausmeir, J. H.; *Manual de Psicologia Educacional*, Harbra: São Paulo, 1977, pág. 50-59.
23. Nardi, R.; *Educação em Ciências da Pesquisa à Pratica Docente*; 3ª. Ed; Escrituras: São Paulo, 2003, cap. 5.
24. Kaminski, K.; Gil, P.; *Educação*, **2001**, *244*, 49.

25. Schnetzler, R. P.; Aragão, R. M. R.; *Química Nova na Escola* **1995**, *1*, 27-31.
26. Rogers, C. R.; *Um Jeito de ser*, EPU: São Paulo,1983, pág 89-107.
27. Rogers, C. R.; *Tornar-se Pessoa*, 3ª. ed; Martins Fontes: São Paulo, 1977, Cap. XII.
28. Rogers, C. R.; *Liberdade para Aprender*, 4ª. ed, Interlivros de Minas Gerais: Belo Horizonte, 1978, cap. VI.
29. Schnetzler R. P.; *Química Nova*, **2002**, *25*, 14.
30. Sanfelice, J. B. A. G.; *A Universidade e o Ensino de 1º e 2º Graus*, Papirus: Campinas, 1988, pág. 69-80.
31. Meis, L .; *Ciência e Educação, o Conflito Humano-Tecnológico*; Ed. do autor: Rio de Janeiro, 1998, cap. 5.
32. Carvalho, M. C. M.; *Técnicas de Metodologia Científica: Construindo o Saber*, Papirus: Campinas, 1988, primeira parte, cap. I-V.
33. Maldaner, O. A.; *A Formação Inicial e Continuada de Professores de Química*, Unijuí: Ijuí, 2000, cap. 1.
34. Santos, W. L. P.; Schnetzler, R. P.; *Educação em Química: Compromisso com a Cidadania*, Unijuí: Ijuí, 1997, pág 13- 34, 117-127.
35. Cortella, M. S.; *A Escola e o Conhecimento, Fundamentos Epistemológicos e Políticos*; 4ª. Ed, Cortez editora: São Paulo, 2001, cap. 1.
36. Freire, P. *Pedagogia da Indignação, Cartas Pedagógicas e Outros Escritos*; 4ª. Reimpressão, Ed. da Unesp: São Paulo, 2000, pág.114.
37. Chagas A. P.; *Química Nova na Escola*, **1997**, *5*, 18.
38. Beltran N. O.; *Química Nova na Escola*, **1997**, *5*, 14.
39. Maldaner O. A.; Piedade M. C. T.; *Química Nova na Escola*, **1995**, *1*, 15.
40. Schnetzler R. P.; Santos W. L. R.; *Química Nova na Escola*, **1996**, *4*, 28.
41. Mortimer E. F.; Machado A. H. Romanelli L. I.; *Química Nova*, **2000**, *23*, 273.
42. Machado, A. H.; Moura, A. L. A.; *Química Nova na Escola*, **1995**, *2*, 27.
43. Lima, M. E. C. C.; *Química Nova na Escola*, **1996**, *4*, 12.
44. Gillespie, R. J.; *Journal of Chemical Education*, **1994**, *71*, 665.
45. Machado, A. H.; *Aula de Química, Discurso e Conhecimento*, ed Unijuí: Ijuí; 1999, cap.5.
46. Moreira, A. F.; Silva, T. T.; *Currículo, Cultura e Sociedade*; 5ª edição, Cortez Editora: São Paulo, 2001, cap. 1-3.
47. Castro, A. A. D; *Um Olhar Construtivista sobre Educação*, R. Vieira Gráfica: Campinas, 2001.
48. Queluz, A. G.; *Interdisciplinaridade, Formação de Profissionais da Educação*, Pioneira: São Paulo, 2000, cap. 1 e 5.
49. Fazenda, I. C. A.; *Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa*, Papirus: Campinas, 1994, Cap.2.
50. Fazenda I. C. A.; *Interdisciplinaridade: Um Projeto em Parceria*, 5ª edição, Loyola: São Paulo, 2002, pág 11-37.
51. Wachowicz, L. A.; Angelis, S.; Portilho, E. M. L.; Maria, J. P.; *A Interdisciplinaridade na Universidade*; Champagnat: Curitiba, 1998, cap. 1-3.
52. Brown, E. N.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 13.
53. Lopes, A. R. C.; *Conhecimento Escolar: Ciência e Cotidiano*; eduerj, Rio de Janeiro, 1999.
54. Brasil; Ministério da Educação; Conselho Nacional de Educação/ Câmara de Educação Superior; *Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química*;

Processo nº. 23001.000320/2001-44; Parecer nº. 1.303/2001; Aprovado em 06/11/2001.
55. Pochmann, M.; Rainho, J.M.; *Ensino Superior* **2002**, *42*, 3.
56. Pochmann, M.; Rainho, J.M.; *Educação* **2002**, *251*, 7.
57. Ribeiro, C.; *Ensino Superior* **2001**, *39*, 32.
58. Lipkowitz, K. B.; Jalaie, M.; Robertson, D.; Barth, A.; *Journal of Chemical Education*, **1999**, *76*, 684.
59. Clarck, R. W.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 154.
60. Lagowiski, J. J.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 425.
61. Scerri, E. R.; *Journal of Chemical Education*; **2000**, *77*, 522.
62. Vallarino, L. M.; Wnek, G. E.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 832.
63. Ramsey, L. L.; Readford, D. L.; Deese, W. C.; *Journal of Chemical Education*, **1997**, *74*, 946.
64. Breslow, R.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 705.
65. Feinman, R. D.; *Journal of Chemical Education*; **2001**, *78*, 1215.
66. Schwartz, A. T.; Serie, J.; *Journal of Chemical Education*, *2001*, *78*, 1490.
67. Bevilacqua, V. L. H.; Jennifer, L. P.; Dale, L. V.; Rascati, R. J.; Hall, M.; Diehl, K.; Jain, S. S.; Chabayta, R.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, 79, 1311.
68. Wolfson, A. J.; Hall, M. L.; Allen, M. M.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 737.
69. Calascibetta, F.; Campanella, L.; Favero, G.; *Journal of Chemical Education*, **2000**, *77*, 1311.
70. Farrel, N.; Ross, P.; Roat, R. M.; *Journal of Chemical Education*, **1988**, *75*, 739.
71. Reutt-Robey, J.; Blough, N.; Rebbert, R. L.; *Journal of Chemical Education*, **1999**, *76*, 161.
72. Guzmán- Casado, M.; Parody- Morreale, A.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 327.
73. Koether, M.; McGarey, D.; Patterson, M.; Williams, D. J.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 934.
74. Hecke, G. R. V.; Karukstis, K. K.; Haskell, R. C.; McFadden, C. S.; Wettack, F. S.; *Journal of Chemical Education*, **2002**, *79*, 837.

Capítulo 1- "Sensações: Porta de Entrada das Informações do Mundo para a nossa Mente"

1. Pessoa, F.; *Poemas Escolhidos*, O estado de São Paulo, Klick Editora: São Paulo, 1997, pág. 27.
2. Chaui, M.; *Convite à Filosofia*, 12ª edição, Ática: São Paulo, 2002, unidade 4, cap. 2.
3. Otto Lowenstein, *Os sentidos*, Biblioteca Universal Popular: Rio de Janeiro, 1968, cap. 11.
4. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, cap. 6-10.
5. Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessel, T. M.; *Fundamentos da Neurociências e do Comportamento*; 2ª reimpressão, Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 1-16.

6. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, cap. 8-12.
7. Weinten, W.; *Introdução à Psicologia, Temas e Variações*; 4ª ed, Pioneira-Thomson: São Paulo, 2002, cap. 3 e 4.
8. Simões, E. A. Q.; Tiedemann, K. B.; *Psicologia da Percepção*; EPU: São Paulo, 1985, cap. 1-3.
9. Forgus, R. H.; *Percepção, o Processo Básico do Desenvolvimento Cognitivo*; EPU: São Paulo, 1981, cap. I e II.
10. Changeux J. P.; Connes, A.; *Matéria e Pensamento*, Editora da Unesp, São Paulo, 1996, cap. 1.
11. Guimarães, B.; *Superinteressante*, **2003**, , 44.
12. Dawkins, R.; *Desvendando o Arco-Íris, Ciência, Ilusão e Encantamento*, Companhia das Letras: São Paulo, 2000, cap. 4.
13. Ference Jr., M.; Lemon, H. B.; Stephenson, R. J.; *Curso de Física, Ondas (Som e Luz)*, Ed. Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1968, cap. 1-3.
14. Stevens, S. S.; Warshofsky, F.; *Som e Audição*, Livraria José Olympio, Biblioteca Científica Life: Rio de Janeiro, 1988, cap. 1-4.

Capítulo 2 – "Visão, Luz e Cores"

1. Meywe, P.; *O Olho e o Cérebro, Biofilosofia da Percepção Visual*; Unesp: São Paulo, 2002, pág. 13-75.
2. Weinten, W.; *Introdução à Psicologia, Temas e Variações*; 4ª ed, Pioneira-Thomson: São Paulo, 2002, cap. 4.
3. Simões, E. A. Q.; Tiedemann, K. B.; *Psicologia da Percepção*; EPU: São Paulo, 1985, cap. 4-7.
4. Horowicz, J. R.; *Luz, Cores... Ação, a Ótica e suas aplicações tecnológicas*, Moderna: São Paulo, 1999, cap. 1-4,11,12.
5. Fazenda, J. M. R.; *Tintas & Vernizes, Ciência e Tecnologia*, 2ª Ed, Abrafati: São Paulo; 1995, Vol. 1, Cap. 1, 10-12.
6. Chaui, M.; *Convite à Filosofia*, 12ª edição, Ática: São Paulo, 2002, unidade 4, cap. 2 e unidade 7.
7. Aranha, M. L. A.; Martins, M. H. P.; *Filosofando, Introdução à Filosofia*, Moderna: São Paulo, 1986, cap. 11 e 14.
8. Chassot, A.; *A Ciência Através dos Tempos*, Editora Moderna: São Paulo, 1994.
9. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, cap. 6 e 9.
10. Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessel, T. M.; *Fundamentos da Neurociências e do Comportamento*; 2ª reimpressão, Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 21-25.
11. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, cap. 9 e 10.
12. Guyton, A. C.; *Tratado de Fisiologia Médica*; 7ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1989, pág. 555-581.
13. Aires, M. M.; *Fisiologia*, Guanabara - Koogan: Rio de Janeiro, 1999, cap. 26.
14. Berne, R. M.; Levy, M. N.; Koeppen, B. M.; Stanton, B. A.; *Fisiologia*, 4ª ed; Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 9.

15. Mueller, C. G.; Rudolph, M.; *Luz e Visão*, Livraria José Olympio: Rio de Janeiro, 1982, cap. 1, 2, 4, 6 e 7.
16. Mecacci, L. *Conhecendo o cérebro,* Nobel: São Paulo, 1987, pág. 43-53.
17. Kotz, J. C.; Treichel Jr, P.; *Química & Reações Químicas*, 3ª ed, LTC, 1998, cap. 10.
18. Skoog, D. A.; Nieman, T. H.; Holler, F. J.; *Análise Instrumental*, 5ª ed Bookman: Porto Alegre, 2002, cap. 13 e 14.
19. Atkins, P. W.; *Físico-Química*, 6ª ed, Editora LTC: Rio de Janeiro, 1999, vol. 1, cap. 1; vol. 2, cap. 1, 7 e 12.
20. Gleiser, M.; *Energia, Transformação e Poesia*; Folha de São Paulo: São Paulo, Caderno Mais!, Domingo, 14 de outubro de 2001, pág. 23.
21. Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J.; *Fundamentos de física 4, Ótica e Física Moderna*, 4ª ed, LTC: Rio de Janeiro, 1995.
22. Costa, M. L.; Silva, R. R.; *Química Nova na Escola*, **1995**, *1*, 3.
23. Mozeto, A. A.; *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola,* **2001**, *1*, 41-49.
24. Gleiser, M.; *Dualismo Solar*; Folha de São Paulo: São Paulo, Caderno Mais!, Domingo, 15 de julho de 2001, pág. 27.
25. Atkins, P. W.; *Moléculas*; Edusp: São Paulo, 2000, cap. 5.
26. Gleiser, M.; *As cores do céu*; Folha de São Paulo: São Paulo, Caderno Mais!, Domingo, 4 de novembro de 2001, Pág.11.
27. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, 6ª edição, LTC: Rio de Janeiro, 1996, vol. 1, cap. 12 e 13, tópico especial G.
28. Silverstein, R. M.; Bassler, G. C.; Morril, T. C.; *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*, 3 ªed, Guanabara, 1987, cap. 3.
29. Shriver, D. F. Atkins, P. W.; Langford, C. H., *Inorganic Chemistry*, 2ª ed, Oxford University Press, 1996, pág. 50-81.
30. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000, pág 47, 424-426.
31. Vieira, E. C.; Figueiredo, E. A.; Alvarez-Leite, J. I. Gomez, M. V.; *Química Fisiológica*; 2ª ed, Atheneu: São Paulo, 1995, cap. 18.
32. Costa, P.; Pilli, R.; Pinheiro, S.; Vasconcellos, M.; *Substâncias Carboniladas e Derivados*; Bookman: Porto Alegre, 2003, pág. 72.
33. Kuehni, R. G.; *Color, an Introduction to and Principles*, John Wiley & Sons, Inc. 1997.

Capítulo 3 – "Moléculas e Sensações de Cor"

1. Veloso, C.; *Luz do Sol*, Polygram, 1986.
2. Fazenda, J. M. R.; *Tintas & Vernizes, Ciência e Tecnologia*, 2ª Ed, Abrafati: São Paulo; 1995, vol. 1, cap. 1, 10-12.
3. Gordon, P. F.; Gregory, P.; *Organic Chemistry in Color*; Spring-Verlag: New York, 1987, cap. 1-5.
4. Kuehni, R. G.; *Color, an Introduction to and Principles*, John Wiley & Sons, Inc. 1997, cap. 1-4.
5. Shriver, D. F. Atkins, P. W.; Langford, C. H., *Inorganic Chemistry*, 2ª ed, Oxford University Press, 1996, pág. 50-81.

6. Atkins, P. W.; *Moléculas*; Edusp: São Paulo, 2000, cap. 5.
7. Costa, M. L.; Silva, R. R.; *Química Nova na Escola*, **1995**, *1*, 3.
8. Kimbrough, D. R.; *Journal of Chemical Education*, **1997**, *74*, 51-53.
9. Walters, C.; Keeney, A.; Wigal, C. T.; Jonhston, C. R.; Cornelius, R. D.; *Journal of Chemical Education*, **1997**, *74*, 99-102.
10. Lawrence, G. D.; Fishelson, S.; *Journal of Chemical Education*, **1999**, *76*, 1199-1120.
11. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; Princípios de Bioquímica; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000, pág 192-193, 427-429.
12. Bobbio, F. O.; Bobbio, P. A.; *Introdução a Química dos Alimentos*, 2ª Ed, Livraria Varela:, São Paulo, 1992, cap. VI.
13. Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O.; *Química do Processamento dos Alimentos"*; 2ª. ed, Livraria Varela: São Paulo, 1992, pág. 105-120.
14. Yune, R. A.; Calixto, J. B.; *Plantas medicinais sob a Ótica da Química Medicinal Moderna*, Argos 2001, pág. 317-334.
15. Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P; Gosmannn, G.; Mello, J. C. P.; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R.; *Farmacognosia, da Planta ao Medicamento*, 2ª Ed, Editora da UFSC: Florianópolis, 2000, cap. 23.
16. Queija, C.; Queirós, M. A.; Rodrigues, L. M.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 236-237.
17. Gouvela-Matos, J. A. M.; *Química Nova na Escola*, **1999**, *10*, 6-10.
18. Maar J. H., *Pequena História da Química, dos Primórdios a Lavoisier*, 1ª.edição, Papa-Livro, Florianópolis-SC, 1999, pág 69-73, 685-688.
19. Orna, M. V.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 1305-1311.
20. Okawara, M.; Kitao, T.; Hirashima, T.; Matsuoka, M.; *Organic Colorants, a Handbook of Data of Selected Dyes for Electro-optical Applications*, Physical Sciences Data 35, Elsevier, 1988.
21. Völz, H. G.; *Industrial Color Testing, Fundamentals and Techniques;* VHC Germany; 1995, cap. 1 e 2.
22. Abrahart, E. N.; *Dyes and their intermediates;* Edward Arnold Ltd.: London, 1977. Gould, R. F.; *Industrial Color Technology*, American Chemical Society, Washington, 1972, cap. 1, 2 e 5.
23. Herbst, W.; Hunger, K.; *Industrial Organic Pigments*, 2ª Ed, Wiley Company, Germany, 1997, cap. 1, 2 e 3.
24. Patton, T. C.; *Pigment Handbook*, John-Willey-Interscience Publication, 1973, vol. 3, pág. 219-288.
25. Allen, R. L. M.; *Colour Chemistry*, Nelson, 1971, cap. 1, 2, 3, 9 e 15.
26. Baccan, N.; Andrade, J. C.; Godinho, O. E. S.; Barone, J. S.; *Química Analítica Quantitativa Elementar*, 3ª ed, Ed. Edgard Blücher LTDA, 2001, cap. 3.
27. Guarantini, C. I.; Zanoni, M. V. B.; *Química Nova*, **2000**, *23*, 71.
28. Silverstein, R. M.; Bassler, G. C.; Morril, T. C.; *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*, 3 ªed, Guanabara, 1987, cap. 3.
29. Skoog, D. A.; Nieman, T. H.; Holler, F. J.; Análise Instrumental, 5ª ed Bookman: Porto Alegre, 2002, cap. 13 e 14.

Capítulo 4 – "Ambiente, Vida e Sensações de Temperatura"

1. Favaretto, J. A; Mercadante, C.; *Biologia*, Volume Único, Editora Moderna: São Paulo, 1999, cap. 16 e 20
2. Jardim, W.; *Cadernos Temáticos da Química Nova na Escola*, **2001**, 1, 5-8.
3. Mozeto, A. A.; *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, **2001**, *1*, 41-49.
4. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000, cap. 1.
5. Baird, C.; *Química Ambiental*, 2ª ed, Bookman: São Paulo, 2002, cap. 2 e 4.
6. Costa, M. L.; Silva, R. R.; *Química Nova na Escola*, **1995**, *1*, 3.
7. Tolentino, M.; Rocha-Filho, R. C.; *Química Nova na Escola*, **1998**, *8*, 10-14.
8. Adas, M.; *Panorama Geográfico do Brasil*, 2ª ed, Editora Moderna: São Paulo, 1985, cap. 6.
9. http://www.conhecimentosgerais.com.br/geografia/clima.html. Consultada em outubro de 2003.
10. Guyton, A. C.; *Tratado de Fisiologia Médica*; 7ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1989, cap. 50.
11. Aires, M. M.; *Fisiologia*, Guanabara - Koogan: Rio de Janeiro, 1999, cap. 1 e 22.
12. Berne, R. M.; Levy, M. N.; Koeppen, B. M.; Stanton, B. A.; *Fisiologia*, 4ª ed; Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000.
13. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, cap. 7, 14 e 25.
14. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, cap. 12, 15 e 16.
15. Gleiser, M.; *Dualismo Solar*; Folha de São Paulo: São Paulo, Caderno Mais!, Domingo, 15 de julho de 2001, pág. 27.
16. Calvert, J. G.; *The Chemistry of the Atmosphere its Impact on Global Change*, Blackwell Scientific Publication, 1994, cap. 1, 2 e 6.
17. GEPEC, *Interações e transformações III, A química e a Sobrevivência, Atmosfera-Fonte de Materiais*, Edusp: São Paulo, 1998, pág. 15-27, 121-144.
18. Silverstein, R. M.; Bassler, G. C.; Morril, T. C.; *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*, 3 ªed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1987, cap. 5.
19. Shriver, D. F. Atkins, P. W.; Langford, C. H., *Inorganic Chemistry*, 2ª ed, Oxford University Press, 1996, cap. 3.
20. Skoog, D. A.; Nieman, T. H.; Holler, F. J.; *Análise Instrumental*, 5ª ed Bookman: Porto Alegre, 2002, cap. 16 e 17.
21. Atkins, P. W.; *Físico-Química*, 6ª ed, Editora LTC: Rio de Janeiro, 1999, Vol. 1, Cap. 2 e 4.
22. Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kriz, G. S.; *Introduction to Spectroscopy,a Guide for Students of organic Chemistry*, 2ª ed, Saunders Golden Sunburst Series, 1996, cap. 2.
23. Sackheim, G. I.; Lehman, D. D.; *Química e Bioquímica para Ciências Biomédicas*, Manole: São Paulo, 2001.Cap. 2 e 21.
24. Vieira, E. C.; Figueiredo, E. A.; Alvarez-Leite, J. I. Gomez, M. V.; *Química Fisiológica*; 2ª ed, Atheneu: São Paulo, 1995, Cap. 12.
25. Crabbé, P. *Prostaglandin Reserch*, Academic Press, inc. 1977, Cap. 1.
26. Bindra, J.; Bindra, R.; *Prostaglandin Synthesis*, Academic Pressa, inc, 1977, cap. 1

Capítulo 5 – "Sensações de Sabor"

1. http://www.insite.com.br/art/pessoa/. Consultada em março de 2004.
2. Berne, R. M.; Levy, M. N.; Koeppen, B. M.; Stanton, B. A.; *Fisiologia*, 4ª ed; Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 11.
3. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, cap. 6 e 10.
4. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, cap. 8.
5. Aires, M. M.; *Fisiologia*, Guanabara - Koogan: Rio de Janeiro, 1999, cap. 4.
6. Guyton, A. C.; *Tratado de Fisiologia Médica*; 7ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1989, Cap. 62.
7. Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O.; *Química do Processamento dos Alimentos*; 2ª. ed, Livraria Varela: São Paulo, 1992, pág. 105-120.
8. Burton, B. T.; *Nutrição Humana,* São Paulo: Editora Mc Graw Hill do Brasil, 1979, Cap.8.
9. Teixeira E.; Meinert E. M.; Barbertta P. A.; *Análise Sensorial de Alimentos*, Editora da UFSC, Florianópolis, 1987.
10. Finger T. E.; Silver W. L.; *Neurobiology of Taste and Smell*, Wiley Series in Neurobiology, John Wileiy & Sons, 1987.
11. Schallenberger R. S.; *Taste Chemistry,* Blackie Academic & Professional, 1993.
12. Mohamed M.; Kanters J. A.; Birch G. G.; *Sweet-Tastes Chemoreception*, Elsevier Applied Science, London and New York, 1992, cap. 1, 2, 5, 6 e 7.
13. Orthefer F. T., Walters E., DuBois G. E.; *Sweeteners: Discovery, Molecular Design and Chemoreception*, ACS Symposium Series, Washington DC, 1991, cap. 10, 11 e 17.
14. Ellis J. W.; *Journal of Chemical Education*, **1995**, *72*, 671-675.
15. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000, Cap. 11.
16. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, 6ª edição, LTC: Rio de Janeiro, 1996, vol. 1, cap. 22.
17. Henderleiter, J.; Smart, R.; Anderson, J.; Elian, O.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 1126-1129.
18. Bobbio F. O.; *Teoria Química da Percepção do Sabor Amargo*, Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP, para a obtenção do título de livre-docente, 1978.
19. Cardello H. M. A. B.; *Caracterização Sensorial de Aspartame, Ciclamato/Sacarina 2:1 e Extrato de Folhas de Estevia (Stevia rebaudiana Bertoni): Equivalências em Doçura Descritiva Quantitativa e Análise Tempo- Intensidade*, Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, 1996.
20. Angeluci, E., *Edulcorantes em Alimentos*, seminário, resumos, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária, 1989.
21. Canhos V. P.; Aloisio J. A.; *Aditivos em Alimentos*; Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, Coordenadoria da Indústria e Comércio, 1983.

22. Kretchmer N.; Hollenbeck C. B.; *Sugars and Sweeteners*, CRC Press, 1991, cap. 2, 7, 14.
23. Nabors L. O., Gelardi R. C.; *Alternative Sweeteners*, Marcel Dekker, Inc. Nerw York, 1986.
24. Laszlo, H., Basso, L. M., Coelho, C. M., *Química dos Alimentos, Alteração dos Componentes Orgânicos*, Editora Nobel, 1986, Cap. 3.
25. Marie S., Piggot J. R., *Handbook of Sweeteners*, Blackie, New York, 1991.
26. Grenby T. H., *Progress in Sweeteners*, Elsevier Applied Science, London e New York, 1989, cap. 11.
27. Williams, K. R.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 1446.
28. Stein, P. J.; *Journal of Chemical Education*, **1997**, *74*, 1112.

Capítulo 6 – "Sensações de Odor e Aroma"

1. Belitz, H-D.; Grosch, W.; *Food Chemistry*, Sprger- Verlag, Int, 1986, cap. 5.
2. Pintauro, N. D.; *Food Flavoring Processes, Noyes Data Corporation*, 1976, pág. 148-163. (café e chocolate)
3. Maarse, H.; *Volatile Compounds in Foods and Beverages*; Marcel Dekker, Inc, 1991, cap. 1,8,9,10,11,12,13.
4. Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O.; *Química do Processamento dos Alimentos*; 2ª. ed, Livraria Varela: São Paulo, 1992, pág. 105-120.
5. Canhos V. P.; Aloisio J. A.; *Aditivos em Alimentos*; Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, Coordenadoria da Indústria e Comércio, 1983.
6. Simões, E. A. Q.; Tiedemann, K. B.; *Psicologia da Percepção*; EPU: São Paulo, 1985, cap. 1-3.
7. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, Cap. 8.
8. Lawless, H. T.; Heymann, H.; *Sensory Evoalution of Food Principles and Pratices*; Aspen Publication, 1999, cap. 2. (introdução)
9. Birch, G. C.; Brennan, J. G.; Parker, K. J.; *Sensory Properties od Foods*, Applied Science Publisher LTD, cap. 2,5,10.
10. Lood, P. M.; Magnen J. L.; *Olfaction and Taste VI*, London: Information retriecal, 1977, pág. 9-26.
11. Atkins, P. W.; Jones, L.; *Princípios de Química, Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*, Porto Alegre: Bookaman, 2001, cap. 8.
12. Atkins, P. W.; *Físico-Química*, 6ª ed, Editora LTC: Rio de Janeiro, 1999.
13. Peckham, G. D.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 787.
14. Takeoka, G. R.; Güntert, M.; Engel, R. H.; *Aroma Active Compounds in Foods, Chemistry and Sensory Properties,* American Chemical Society: Washington, cap. 1.
15. Fisher, C.; Scott, T. R.; *Food Flavours, Biology and Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, 1997, cap. 1-3.
16. James, D. R.; *Fragrance Technology Synthetic and natural Perfumes*, Noyes Data Corporation, 1975, pág 106-174.
17. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, 6ª edição, LTC: Rio de Janeiro, 1996.

18. Goldberg, I.; Williams, R.; *Biotechnology and Food Ingredients*, Van Nostruand Reinhold: New York, 1991, cap. 15.
19. Appele, l.; *Cosmetics, Fragrances and Flavours*, New Jersey: Novox Publisher, Inc, 1982, cap. II, VI e VII.
20. Marsili, R.; *Techiniques for Analyzing Food Aroma*, New York: Marcel dekker, Inc, 1997, cap. 6.
21. Acree, T. E.; Teranishi, R.; *Flavor Science Sensible Principles and Techniques*, ACS Professional Reference Book, 1993, cap. 2.
22. Atkins, P. W.; *Moléculas*; Edusp: São Paulo, 2000, cap.4.
23. Emsley, M.; *Moléculas em Exposição*; Edgard-Blücher Ltda: São Paulo, 2001, pág. 16.

Capítulo 7 – "Neuroquímica e Sensações"

1. Otto Lowenstein, *Os sentidos*, Biblioteca Universal Popular, Rio de Janeiro, 1968, cap 11.
2. Changeux J. P.; Connes, A.; *Matéria e Pensamento*, Editora da Unesp, São Paulo, 1996, cap 1.
3. Stix, G.; *Scientif American Brasil*, **2003**, *17*, 38-40.
4. Weinten, W.; *Introdução à Psicologia, Temas e Variações*; 4ª ed, Pioneira-Thomson: São Paulo, 2002, Cap. 3 e 4.
5. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, Cap. 1-5.
6. Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessel, T. M.; *Fundamentos da Neurociências e do Comportamento*; 2ª reimpressão, Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 1-16.
7. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, Cap. 1-7.
8. Guyton, A. C.; *Tratado de Fisiologia Médica*; 7ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1989, cap. 46- 47.
9. Aires, M. M.; *Fisiologia*, Guanabara - Koogan: Rio de Janeiro, 1999, Cap. 6-11, 19-21.
10. Berne, R. M.; Levy, M. N.; Koeppen, B. M.; Stanton, B. A.; *Fisiologia*, 4ª ed; Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, Cap. 1-7.
11. Kaplan H.I., Sadock B. J., Gebb J. A.; *Compêndio de Psiquiatria, Ciência do Comportamento e Psiquiatria Clínica*, 7ª edição, São Paulo, Artmed, 1997, Cap. 3.
12. Gage, F. H.; *Scientif American Brasil*, **2003**, *17*, 40-47.
13. Holloway, M.; *Scientif American Brasil*, **2003**, *17*, 70-77.
14. Mecacci, L. *Conhecendo o cérebro*, Nobel: São Paulo, 1987, pág. 1-30, 53-78.
15. http://www.cliquemusic.com.br/br/acontecendo.asp?Nu Materia=3469. Consultada em outubro de 2003.
16. Graeff, F. G.; Brandão, M. L.; *Neurobiologia das doenças mentais*, 4ª edição, Lemos: São Paulo, 1997, cap. 2 e 3.
17. Vieira, E. C.; Figueiredo, E. A.; Alvarez-Leite, J. I. Gomez, M. V.; *Química Fisiológica*; 2ª ed, Atheneu: São Paulo, 1995, cap. 12 e 24.
18. Paiva, M. R.; *Feliz Ano Velho*, 73ª, São Paulo: Bariliense, 1989.

19. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, volumes 1 e 2, 6ª edição, LTC: Rio de Janeiro, 1996, cap. 2 e 23, pág. 439-573.
20. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000, cap. 9,10,13 e 20.
21. Atkins, P. W., *Físico-Química*, 6ª ed, Editora LTC, 1999, vol. 1, cap. 10.
22. http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/em_pauta/em_pauta_novidades_310.html. Consultada em novembro de 2003.
23. http://www.diariomedico.com/edicion/noticia/0,2458,400497,00.html. Consultado em novembro de 2003.
24. http://www.nobel.se/chemistry/laureates/2003/public.html. Consultado em novembro de 2003.
25. http://www.crq4.org.br/informativo/dezembro_2003/pagina06.php. Consultado em novembro de 2003.
26. http://www.hhmi.org/news/mackinnon8-esp.html. Consultado em novembro de 2003.
27. Rocha-Filho, R.; *Química Nova na Escola*, **2003**, *18*, 9.
28. http://www.avempace.com/departamento/matematicas/informatica/nash/biografia.htm. Consultada em maio de 2003.
29. Sackheim, G. I.; Lehaman, D.D.; *Química e Bioquímica para Ciências Biomédicas*, 8ª ed, Manole: São Paulo, 2001, cap. 32.
30. Panikashvilli, D.; Simeonidou, C.; Bem-Shabat, S.; Hanus, L.; Breuer, A; Mechoulam, R.; Shohami, E.; *Nature*, **2001**, *413*, 527.
31. Marsicano, G.; Wotjak, C. T.; Azad, S. C.; Bisogno, T.; Rammes. G.; Cascio, M. G.; Hermann, H.; Tang, J.; Hofmann, C.; Zieglänsberger, W.; Marzo, V.; Lutz, B.; *Nature*, **2002**, *418*, 530.
32. Meng, I. D.; Manning, B. H.; Martin, W. J.; Fields, H. L.; *Nature*, **1998**, *395*, 381.
33. Calignano, A.; Kátona, I.; Désarnaud, F.; Giuffrida, A.; La Rana, G.; Mackie, K.; Freund, T. F.; Piomelli, D.; *Nature*, **2000**, *408*, 96.
34. Pankaj, S.; *Nature*, **2002**, *418*, 488.
35. Barreiro, E. J., Fraga, C. A..M., *Química Medicinal, as Bases Moleculares da Ação dos Fármacos*, Artmed: Porto Alegre, 2001, cap. 1.
36. Alan, D.; Raines, A.; Raines, R. T.; *Journal of Chemical Education*, **1995**, *72*, 119.

Capítulo 8 – "Dor: Sensação Boa ou Ruim?"

1. http://www.portaldosaofranscisco.hpg.ig.com.br/poesias/revoltavm.html. Consultada em janeiro de 2004.
2. Nogueira, S.; Folha de São Paulo, *Rejeição ativa circuitos da dor no cérebro*, 10 de outubro de 2003, página A-14.
3. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, Cap. 12.
4. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, Cap. 6 e 7.
5. Guyton, A. C.; *Tratado de Fisiologia Médica*; 7ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1989, cap. 50.
6. Weinten, W.; *Introdução à Psicologia, Temas e Variações*; 4ª ed, Pioneira-Thomson: São Paulo, 2002, Cap. 3.

7. Nogueira, P.; *Galileu*, **2003**, *138*, 18-25.
8. Atkins, P. W.; *Moléculas*; Edusp: São Paulo, 2000, cap. 6.
9. Lehninger A. L.; Nelson D. L., Cox M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Sarvier: São Paulo, 2000, cap. 22 e pág 192-194.
10. Kolwein, S. D.; *Journal of Chemical Education*, **1992**, *1*, 3-8.
11. Crabbé, P. *Prostaglandin Reserch*, Academic Press, inc. 1977, Cap. 1.
12. Bindra, J. ; Bindra, R.; *Prostaglandin Synthesis*, Academic Press, inc. 1977, Cap. 1.
13. Simmonds, R. J.; *Chemistry of Biomolecules an Introduction*, Royal Society of Chemistry, cap. 7.
14. Vieira, E. C.; Figueiredo, E. A.; Alvarez-Leite, J. I. Gomez, M. V.; *Química Fisiológica*; 2ª ed, Atheneu: São Paulo, 1995, Cap. 12.
15. Artoni, C.; *Galileu*, **2003**, 147, 18-27.
16. Patrick, G. L.; *An Introduction to Medicinal Chemistry*, Oxford University Press, 1997, cap. 12.
17. Marsicano, G.; Wotjak, C. T.; Azad, S. C.; Bisogno, T.; Rammes. G.; Cascio, M. G.; Hermann, H.; Tang, J.; Hofmann, C.; Zieglänsberger, W.; Marzo, V.; Lutz, B.; *Nature*, **2002**, *418*, 530-534.
18. Meng, I. D.; Manning, B. H.; Martin, W. J.; Fields, H. L.; *Nature*, **1998**, *395*, 381-383.
19. Pankaj, S.; *Nature*, **2002**, *418*, 488-489.
20. Sackheim, G. I.; Lehman, D. D.; *Química e Bioquímica para Ciências Biomédicas*, Manole: São Paulo, 2001. pág 198, 310, 322.
21. Zorzetto, R.; *Pesquisa Fapesp*, **2003**, *87*, 50-53.
22. Revista Educação & Família, *Drogas como lidar com o problema*, Edição 01, ano 1, Editora escala, 2002, 18-30.
23. Correia C. R. D., *Síntese Assimétrica de Alcalóides e N-heterocíclos com Atividade Farmacológica*, Apostila da XX Escola de Verão em Química Orgânica, UFSCar, fevereiro de 2000.
24. Cordell G. A., *The Alkaloids, Chemistry and Biology*, Academic Press, 1998, cap. 1.
25. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, 6ª ed, LTC: Rio de Janeiro, 1996, pág. 439-473.
26. Simões C. M. O., Schenkel E. P, Gosmannn, G. Mello J. C. P., Mentz L. A., Petrovick P. R., *Farmacognosia, da Planta ao Medicamento*, 2ª edição, Florianópolis, Editora da UFSC, 2000, cap. 29-32.
27. Neidle, E. A.; Yagiela, J. A.; *Farmacologia e Terapêutica para Dentistas;* 3ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1991.
28. Kaplan H.I., Sadock B. J., Gebb J. A., *Compêndio de Psiquiatria, Ciência do Comportamento e Psiquiatria Clínica*, 7ª edição, ARTMED, São Paulo, 1997, cap. 12.
29. Ono, T.; Inoue, M.; Rashid, M. H.; Sumikawa, K.; Ueda, H.; *Neurochemistry International*, **2002**, *41*, 399.
30. Barreiro, E. J.; Fraga, C. A. M.; *Química Medicinal, as Bases Moleculares da Ação dos Fármacos*, Artmed: Porto Alegre, 2001, cap. 1-4.
31. Kalina, E.; *Os efeitos das Drogas no Cérebro Humano, A Contribuição das Neurociências no Campo da Dependência Química*; Bezerra: São Bernardo do campo, 1997, cap. 1-3, 7.

32. Antenore, A.; Folha de São Paulo, *Heroína já preocupa psiquiatras brasileiros*, 6 de abril de 2003, página C6.
33. Yunes R. A., Calixto J. B., *Plantas medicinais sob a Ótica da Química Medicinal Moderna*, Argos editora universitária, 2001, cap. 1.
34. Agosta, W. C.; *Journal of Chemical Education*, **1997**, *74*, 857-860.
35. Olmsted III, J.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, 75, 1261-1263.
36. Borer, L. L.; Barry, E.; *Journal of Chemical Education*, **2000**, *77*, 354-355.
37. Stachulski, A. V.; Lennard, M. S. ; *Journal of Chemical Education*, **2000**, *77*, 349-353.
38. Castellón, L. Bock, L.; *Revista Istoé*, **2001**, *6*, 9.
39. Hoyt, W.; *Journal of Chemical Education*, **1995**, *72*, 322.
40. Inaba, B. S.; Cohen, W. E.; *Drogas Estimulantes Depressores Alucinógenos, Efeitos Físicos e Mentais das Drogas Psicoativas*; Jorge Zahar Editor: Rio de Janeiro, 1991, pág. 84-107.
41. Gringauz, A.; *Introduction to Medicinal Chemistry How Drugs Act and Why*, Wiley – VHC, cap. 5 e 13.

Capítulo 9 – "Sensações Emocionais e Drogas"

1. http://www.geocities.com/arquivoi/agente.html. Consultada em agosto de 2003.
2. Weinten, W.; *Introdução à Psicologia, Temas e Variações*; 4ª ed, Pioneira-Thomson: São Paulo, 2002, Cap. 3 e 10.
3. Lent, R.; *Cem Bilhões de Neurônios*; Atheneu: São Paulo, 2001, cap. 15 e 20.
4. Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessel, T. M.; *Fundamentos da Neurociências e do Comportamento*; 2ª reimpressão, Guanabara- Koogan: Rio de Janeiro, 2000, cap. 32 e 33.
5. Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A.; *Neurociências, Desvendando o Sistema Nervoso*, 2ª ed, Artmed: Porto Alegre, 2002, Cap. 16,18 e 21.
6. Artoni, C.; *Galileu*, **2003**, *147*, 18-27.
7. Revista Educação & Família, *Drogas como lidar com o problema*, Edição 01, ano 1, Editora escala, 2002, pág. 6-44.
8. Kalina, E.; *Os efeitos das Drogas no Cérebro Humano, A Contribuição das Neurociências no Campo da Dependência Química*; Bezerra: São Bernardo do campo, 1997, cap. 1-8.
9. Inaba, B. S.; Cohen, W. E.; *Drogas Estimulantes Depressores Alucinógenos, Efeitos Físicos e Mentais das Drogas Psicoativas*; Jorge Zahar Editor: Rio de Janeiro, 1991, pág. 11-151.
10. Scmidt, I.; *A ilusão das Drogas*; Casa Publicadora Brasileira: São Paulo, 1979, cap. 1-9.
11. Kaplan H.I., Sadock B. J., Gebb J. A.; *Compêndio de Psiquiatria, Ciência do Comportamento e Psiquiatria Clínica*, 7ª edição, Artmed: São Paulo, 1997, Cap. 12,15, e 16.
12. Barreiro, E. J., Fraga, C. A..M., *Química Medicinal*, as Bases Moleculares da Ação dos Fármacos, Porto Alegre, Artmed, 2001, Cap. 1 e 2.

13. Organização Mundial de Saúde, *CID-10, Classificação de Transtornos Mentais e de Comportamento, Descrição Clínicas e Diretrizes Diagnósticas*, Tradução: Prof. Dr., Dorgival Caetano, Artmed: Porto Alegre, 1993, pág. 111-143.
14. Solomons, T. W.; *Química Orgânica*, volumes 1 e 2, 6ª edição, LTC: Rio de Janeiro, 1996, cap. 19, pág. 304-311 e 439-473.
15. Salim J.; *Noções de Psicofarmacoterapia na Prática*, São Paulo, EPU, EDUC, 1987, Cap. 2, 3, 5-7.
16. Neidle, E. A.; Yagiela, J. A.; *Farmacologia e Terapêutica para Dentistas;* 3ª Ed, Guanabara: Rio de Janeiro, 1991, Cap. 1, 2, 5- 8, 12-14, 17, 20, 21, 44 e 46.
17. Atkins, P. W.; *Moléculas*; Edusp: São Paulo, 2000, cap. 6.
18. Labianca, D. A.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 719-722.
19. Desjardins, P.; Butterworth, R. F.; *Neurochemistry International*, **2002**, *41*, 109-114.
20. Sapolsky, R.; *Scientific American Brasil*, **2003**, *17*, 79-87.
21. Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica*; 2ª ed, Editora Sarvier: São Paulo, 2000.
22. Silverstein, T. P; *Jounal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 723-724.
23. Torrence, P. F.; *Biomedical Chemistry Applying Chemical Principles to the Understanding and Treatment of Diase*, Wiley Interscience, 2000, cap. 3.
24. Feinman, R. D.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 1215-1220.
25. Romeiro, L. A. S.; Fraga, C. A. M. Barreiro, E. J.; *Química Nova*, **2003**, *26*, 347.
26. Perrine, D. M.; Sabanayagam, N. R.; Reynolds, K. J.; *Journal of Chemical Education*, **1998**, *75*, 1266.
27. Pinheiro, A.; Jornal Folha de São Paulo, Caderno: Folhateen, *Drogas Emergentes, da Malhação à Ferveção*, Segunda-feira, 6 de agosto de 2001, pág 6-8.
28. Emsley, M.; *Moléculas em Exposição*; Edgard-Blücher Ltda: São Paulo, 2001, Pág. 70- 74.
29. Caversan, L.; Jornal Folha de São Paulo, Caderno: Cotidiano, *Ecstasy*, Domingo, 17 de março de 2002, pág. C-1.
30. French, L. G.; *Journal of Chemical Education*, **1995**, *72*, 484-491.
31. Summerfield, J. H.; *Journal of Chemical Education*, **1999**, *76*, 1397-1397.
32. Ault, A.; *Journal of Chemical Education*, **2001**, *78*, 500-503.