



Mário Ferreira Sarraipa

Desenvolvimento e avaliação de um método para ensino da glicólise baseado na montagem da via metabólica assistida por computador.

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida pelo(a) candidato (a)
<i>Mário Ferreira Sarraipa</i>
e aprovada por _____

Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia para obtenção do Título de Mestre em Biologia Funcional e Molecular, na área de Bioquímica.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Galembeck

Co-Orientadora: Profa. Dra. Denise Vaz de Macedo

Campinas, 2009

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE BIOLOGIA – UNICAMP**

Sa75d Desenvolvimento e avaliação de um método para ensino da glicólise baseado na montagem da via metabólica assistida por computador / Mário Ferreira Sarraipa. – Campinas, SP: [s.n.], 2009.
Orientadores: Eduardo Galembeck, Denise Vaz de Macedo.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.
1. Programa. 2. Glicólise Anaeróbica. 3. Ensino. 4. Bioquímica. 5. Metabolismo. I. Galembeck, Eduardo. II. Macedo, Denise Vaz de. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. IV. Título.

(pbg/ib)

Título em inglês: Development and evaluation of a method for teaching of glycolysis based in assembling the metabolic pathway assisted by computer.

Palavras-chave em inglês: Programa; Anaerobic Glycolysis; Teaching; Biochemistry; Metabolism.

Área de concentração: Bioquímica.

Titulação: Mestre em Biologia Funcional e Molecular.

Banca examinadora: Eduardo Galembeck, Cláudio Chrysostomo Werneck, Antonio Geraldo Magalhães Gomes Pires.

Data da defesa: 21/01/2009.

Programa de Pós-Graduação: Biologia Funcional e Molecular.
Sarraipa, Mário Ferreira

Campinas, 21 de Janeiro de 2009

BANCA EXAMINADORA:

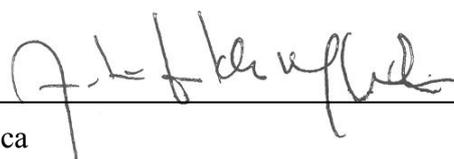
Prof. Dr. Eduardo Galembeck
Depto: Bioquímica IB-Unicamp



Prof. Dr. Claudio Chrysostomo Werneck
Depto: Bioquímica IB-Unicamp



Prof. Dr. Antonio Geraldo Magalhães Gomes Pires
Depto: Departamento de Fundamentos da Educação Física
UEL – Londrina



Prof. Dr. Rodrigo Hohl
Depto: Bioquímica – Labex - IB- Unicamp

Prof. Dr. Raul Antonio Fragoso Neto
Depto: Fisioterapia - Unesp – Presidente Prudente

Provérbio antigo

Eu escuto, eu esqueço
Eu vejo, eu lembro
Eu faço, eu aprendo
Eu falo sobre, eu compreendo

Obrigado a todos vocês amigos e estudantes, que me ajudaram nestes passos do provérbio acima.

AGRADECIMENTOS

À minha grande família que amo tanto... Agradeço a minha mãe Inácia por jamais ter nos deixado sozinhos em todos os momentos, a minha esposa e grande companheira Ludmila que nos momentos mais difíceis soube me compreender e me incentivar, a minha filha Mariane por me perdoar por todos os momentos em que deixei de estar presente, a todos os meus irmãos Olinda, Alice, Celeste, João e em especial a minha irmã Ilda que me ajudou muito em momentos especiais da minha vida.

Ao Prof. Eduardo Galembeck, meu orientador, sempre presente em todos os momentos, meus sinceros agradecimentos.

A Professora Denise Vaz de Macedo, que me possibilitou o contato com essa área do conhecimento, dispondo do seu tempo para me presentear com seu conhecimento e sabedoria.

Aos professores Eneida, Denise, Ione, Cláudio e Charles que cederam suas aulas para a aplicação deste método de ensino e avaliação.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia Educacional Santoro, Gabriel, Itarajú, Gesivaldo, Kimura, Elaine e Bianca, que estiveram por todo esse tempo ao meu lado, me auxiliando e possibilitando momentos de alegria e aprendizado.

Aos amigos do Laboratório de Bioquímica do Exercício Charles Ricardo, Bernardo, Mirtes, Fernanda, Lucas, Fernando, Rodrigo e todos os estudantes e funcionários que me auxiliaram na minha formação pessoal e profissional.

Aos professores Claudio Chrysostomo Werneck, Armindo Antonio Alves, Carlos Francisco Sampaio Bonafé, Rodrigo Hohl, Antonio Geraldo Magalhães Gomes Pires e Raul Antonio Frago Neto pela atenção, paciência e palavras sábias neste importante momento pessoal e profissional.

Em especial a Andréia Aparecida Vigilato que muito me ajudou durante este processo tão importante na minha vida profissional

Agradeço a Unicamp, IASP, IB e ao CNPq pelo auxílio e o apoio necessário para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
SUMÁRIO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ABREVIACÕES.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT.....	xi
ASPECTOS ÉTICOS.....	xii
1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS	16
2.1 A Informática no ensino.....	16
2.2 Tipos de programa.....	21
2.3 A avaliação de um programa educacional.....	22
2.4 Ensino e Aprendizado	24
2.5 Os programas computacionais no ensino de bioquímica	26
2.6 Conceitos de bioquímica utilizados no programa	27
3 OBJETIVOS GERAL	30
4 OBJETIVO ESPECÍFICO	30
5 METODOLOGIA	31
5.1 Descrição das etapas.....	31
5.2 Aplicações do programa nas turmas.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 Primeira reação da Glicólise Anaeróbica.....	43
6.2 Segunda reação da Glicólise Anaeróbica.....	45
6.3 Terceira reação da Glicólise Anaeróbica	48
6.4 Quarta reação da Glicólise Anaeróbica.....	51
6.5 Quinta reação da Glicólise Anaeróbica.....	54
6.6 Sexta reação da Glicólise Anaeróbica.....	56
6.7 Sétima reação da Glicólise Anaeróbica.....	58
6.8 Oitava reação da Glicólise Anaeróbica	61
6.9 Nona reação da Glicólise Anaeróbica	63
6.10 Décima reação da Glicólise Anaeróbica	66
6.11 Décima primeira reação da Glicólise Anaeróbica.....	69
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
9 ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tela principal do programa Adobe Flash.	32
Figura 2: Tela de abertura do programa (tela inicial) e tela do palco principal.	33
Figura 3: Tutorial.	34
Figura 4: Recurso de pista.	34
Figura 5: A pista rápida traz informações instantâneas que a todo o momento auxiliam e orientam o usuário na resolução de cada reação específica.	35
Figura 6: Percentual de desistência durante as onze reações da glicólise anaeróbica.	39
Figura 7: Percentual de perdas em relação ao número de usuários que iniciaram o programa durante as onze reações.	42
Figura 8: Erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da primeira reação da glicólise anaeróbica.	43
Figura 9: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da primeira reação.	44
Figura 10: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da segunda reação da glicólise anaeróbica.	46
Figura 11: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da segunda reação.	47
Figura 12: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da terceira reação da glicólise anaeróbica.	49
Figura 13: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da terceira reação.	50
Figura 14: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da quarta reação da glicólise anaeróbica.	52
Figura 15: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da quarta reação.	53
Figura 16: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da quinta reação da glicólise anaeróbica.	54
Figura 17: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da quinta reação.	55
Figura 18: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da sexta reação da glicólise anaeróbica.	57
Figura 19: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da sexta reação.	57
Figura 20: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da sétima reação da glicólise anaeróbica.	59
Figura 21: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da sétima reação.	60
Figura 22: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da oitava reação da glicólise anaeróbica.	62
Figura 23: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da oitava reação.	62
Figura 24: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da nona reação da glicólise anaeróbica.	64

Figura 25: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da nona reação.	65
Figura 26: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da décima reação da glicólise anaeróbica.	67
Figura 27: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da décima reação.	68
Figura 28: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da décima primeira reação da glicólise anaeróbica.	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Total de estudantes matriculados nas disciplinas que utilizaram o programa.....	37
Tabela 2: Resumo geral da situação dos usuários até a vigésima tentativa por reação.....	41
Tabela 3: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a primeira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	45
Tabela 4: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a segunda reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	48
Tabela 5: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a terceira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	50
Tabela 6: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a quarta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	53
Tabela 7: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a quinta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	55
Tabela 8: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a sexta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	58
Tabela 9: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a sétima reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	61
Tabela 10: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a oitava reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	63
Tabela 11: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a nona reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	66
Tabela 12: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a décima reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.	68
Tabela 13: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a décima primeira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.....	71

ABREVIACOES

ΔG	Delta G
ΔG°	Delta G Zero
$\Delta G^\circ'$	Delta G Zero linha
1,3-BPG	1,3-Bisfosfoglicerato
2PG	2-Fosfoglicerato
3PG	3-Fosfoglicerato
ADP	Adenosina di fosfato
ATP	Adenosina tri fosfato
BB123	Disciplina Bioquímica Básica I
BB280	Disciplina Bioquímica Básica
BDC	Biblioteca Digital de Ciências
BS110	Disciplina Morfofisiologia Humana I
CAPES	Coordenao de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior
CEP	Comitê de tica em Pesquisa
DHAP	Diidroxiacetona-fosfato
EAD	Ensino  Distância
F1,6P	Frutose-1,6-bis fosfato
F6P	Frutose-6-fosfato
FAD	Flavina-adenina dinucleotídeo
G6P	Glicose-6-fosfato
GAP	Gliceraldeído-3-fosfato
H ₂ O	gua
IASP	Instituto Adventista de São Paulo
MSN	Microsoft Service Network
MySQL	(My Structured Query Language) IASP
NAD ⁺	Nicotinamida -adenina dinucleotídeo oxidada
NADH	Nicotinamida -adenina dinucleotídeo reduzida
PBL	Problem-Based Learning
PDB	Protein Data Bank
PEP	Fosfoenolpiruvato
pH	Potencial hidrogeniônico
PHP	Personal Home Page Tools
Pi	Fosfato inorgânico
S/I	Sem Informao
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
WEB	World Wide Web
ZPD	Zona Proximal de Desenvolvimento

RESUMO

O estudo de vias metabólicas é fundamental em todos os cursos das áreas biológicas. O metabolismo de carboidratos, lipídios e proteínas é usado como modelo para estudo de vias metabólicas na maioria das disciplinas de Bioquímica básica e o seu conhecimento é importante para a compreensão dos processos de obtenção e utilização de energia pelos seres vivos. O presente trabalho utilizou-se de uma nova abordagem para o estudo de vias metabólicas baseado na montagem, passo a passo, de uma via metabólica, sendo escolhida a glicólise anaeróbica como modelo. Foi desenvolvido um programa de computador para montagem das reações da via metabólica de maneira que os estudantes manuseassem independentemente com orientações localizadas em um tutorial e com uma seqüência de instruções dos componentes de cada reação. Essa metodologia foi aplicada nos cursos de Educação Física, Enfermagem, Medicina e Biologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP e no curso de Educação Física do Instituto Adventista de São Paulo – IASP, nas disciplinas de bioquímica básica e fisiologia respectivamente. Como instrumento de coleta, foi estruturado e montado um banco de dados, de modo que, ao utilizar o programa, todas as informações de utilização do mesmo foram armazenadas. Analisando estatisticamente os dados, pudemos observar que durante a montagem da via metabólica os usuários apresentaram uma tendência à diminuição do número de tentativas ao longo das onze reações. Dentre as onze reações, os estudantes apresentaram maior dificuldade na primeira e na sexta, conforme demonstrado pelo percentual de usuários (21% para a 1ª reação e 14% para a 2ª reação) que não conseguiram concluir a reação até a vigésima tentativa. Ainda foi analisado o tipo de erro por reação, possibilitando a discussão individual de cada reação e dos possíveis motivos que ocasionaram este erro. Como instrumento didático, o programa foi muito bem aceito pelos estudantes, que tiveram uma alternativa em relação às “aulas tradicionais sobre glicólise anaeróbica”, possibilitando uma abordagem diferenciada do conteúdo. Além disso, o programa permitiu aos estudantes construir as vias metabólicas prestando atenção em cada uma de suas reações e identificando pontos de maior dificuldade. Para os professores, o programa serviu como uma ferramenta didática adicional, proporcionando uma apresentação diferenciada do assunto e o conhecimento das etapas de maior dificuldade para os estudantes, permitindo a retomada dos conceitos necessários para a montagem da via glicolítica.

Palavras chave: Programa; Glicólise Anaeróbica; Ensino; Bioquímica; Metabolismo.

ABSTRACT

The study of metabolic pathways is fundamental for all Biology-related courses. Carbohydrates, lipids, and proteins metabolism is used as a model for the study of metabolic pathways in most Basic Biochemistry subjects, and having such knowledge is important for the understanding of processes such as energy attainment and use up by living beings. This project has used a new approach to study metabolic pathways based on their mounting step-by-step, choosing anaerobic glycolysis as a model. A computer program has been developed for mounting the metabolic pathways reactions so that students could handle it by themselves with support available at a tutorial, and also a sequence of instructions for each reaction components. This methodology was applied to the following courses: Physical Education, Nursing, Medicine, and Biology at Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, and Physical Education at Instituto Adventista de São Paulo – IASP, to the subjects of Basic Biochemistry and Physiology. To collect data, a database has been developed so that, whenever the software was used, every use information was stored. By analyzing data statistically, it was noted that, during metabolic pathways mounting, users were likely to decrease the number of attempts along the eleven reactions. Amongst them, students found it harder on first and sixth reactions, as shown by the percentage of users who were not able to complete the reaction by the twentieth attempt (21% on the first reaction, 14% on the second). Additionally, the type of mistake by reaction has also been analyzed, allowing discussion of each reaction individually, and of possible reasons for such mistakes. As a teaching tool, the program has been very well accepted by students, who had an alternative in relation to the “anaerobic glycolysis traditional classes”, making it possible to have a different approach of contents. Furthermore, the program enabled students to build metabolic pathways paying attention to each one of their reactions, and also identifying the most difficult points. For teachers, the software was an additional tool, providing a different presentation of the topic, and also knowledge on the most difficult stages for students, allowing the resumption of the concepts necessary to assemble the glycolytic pathway.

Keywords: Software; Anaerobic Glycolysis; Teaching; Biochemistry; Metabolism.

ASPECTOS ÉTICOS

O presente projeto leva em conta os aspectos éticos deliberados na Resolução Nº 196, de 10 de outubro de 1996, sob a ótica do indivíduo e das coletividades, tendo os quatro referenciais básicos da bioética: autonomia, não maleficência, beneficência e justiça, entre outros, e assegurando os direitos e deveres do indivíduo.

O projeto consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica para as aulas de bioquímica respeitando todos os aspectos éticos relacionado à pesquisa.

Participaram deste projeto estudantes de graduação das disciplinas desenvolvidas no Instituto de Biologia da Unicamp, estudantes da disciplina de graduação de Educação Física do IASP (Instituto Adventista de São Paulo).

No desenvolvimento desta pesquisa os participantes tiveram seus direitos de não participar resguardados bem como integridade física, intelectual e seus dados pessoais serão mantidos em sigilos sua bem como os resultados por eles obtidos.

Todos os participantes foram informados que o projeto no qual participaram faz parte de uma pesquisa de mestrado no qual será avaliada a utilização do programa bem como sua navegação Foi desenvolvido um formulário explicando todas as questões referentes ao projeto o qual todos os usuários tiveram acesso antes do início da pesquisa denominado **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** (Anexo 2) em conformidade com as normas do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Sendo este projeto aprovado pela CEP sob o número de parecer nº. 664/2007. Neste formulário o estudante poderá não concorda em participar do projeto e todos os dados referentes à sua participação serão armazenados.

1 INTRODUÇÃO

O tema metabolismo energético está muito presente no cotidiano das pessoas. Os meios de comunicação constantemente apresentam assuntos relacionados ao metabolismo. Um exemplo da exposição desse tema na mídia é a reportagem de capa da Revista Veja de julho de 2007 denominada Metabolismo (Buchalla e Neiva, 2007). Além deste, emagrecimento, obesidade, alimentação, *performance* e outros temas também são abordados de forma inadequada por um viés comercial que se restringe simplesmente ao senso comum ou utiliza conceitos ultrapassados. Assuntos como os citados anteriormente, se levados em conta sob a óptica da bioquímica, merecem atenção, principalmente quando tratados por especialistas das áreas biológicas e afins.

O estudo de vias metabólicas é fundamental em todos os cursos das áreas biológicas (Yokaichiya, Galembeck *et al.*, 2001). A disciplina de bioquímica é uma das responsáveis por abordar este tema. O metabolismo de carboidratos, lipídios e proteínas é usado como modelo para estudo de vias metabólicas na maioria das disciplinas de Bioquímica Básica, e o seu entendimento é importante para a compreensão dos processos de obtenção e utilização de energia pelos seres vivos. Segundo Leningher (1995), o metabolismo da degradação da glicose ocupa uma posição fundamental no fornecimento de combustível para a maioria dos organismos vivos.

O aprofundamento do tema “metabolismo” nos remete a alguns conceitos básicos necessários para o entendimento de questões relativas ao funcionamento do ser humano como um todo. É possível associar aos conceitos envolvidos com o metabolismo a formação de compostos ricos em energia que possibilitam a ocorrência de determinadas reações químicas. Sob essa óptica, torna-se necessário saber como os organismos se comportam para produzir essa energia.

Os seres vivos utilizam as reações químicas da hidrólise de Adenosina-tri-fosfato (ATP) que se transforma em Adenosina di fosfato (ADP) liberando uma grande quantidade de energia (Zaia, 2003).

“Todas as células oxidam glicose a piruvato para obter Adenosina-tri-fosfato (ATP)...” (Marzzoco e Torres, 2007).

A molécula de ATP é utilizada nas reações que necessitam de energia em nosso organismo. Diante dessa informação, surgem algumas dúvidas: A fonte dessa molécula é infundável? Qual seria sua fonte de ressíntese? Essa molécula é re-aproveitável? Assim, faz-se necessário um melhor entendimento da proveniência da ressíntese de ATP em algumas situações

fisiológicas como, por exemplo, repouso, atividade física leve, uma corrida para tomar o ônibus, uma corrida de 10 quilômetros, uma caminhada. Imaginemos um profissional que atua em uma academia prescrevendo exercícios para as mais diversas finalidades sem o conhecimento básico sobre a origem dessa energia, como nosso organismo sobrevive e como nossa musculatura se contrai. Este é um exemplo da necessidade do conhecimento básico das vias metabólicas de produção de energia para melhor prescrição por parte do profissional envolvido.

A idéia para o desenvolvimento deste projeto foi concebida com base na necessidade de inovação das aulas tradicionais, nas quais se apresentava de maneira prática a glicólise anaeróbica através da montagem de um quebra-cabeça de papel, que continha as estruturas químicas dos substratos, produtos e enzimas necessários para tal. Esse procedimento era realizado por grupos, e a montagem do quebra-cabeça era uma forma alternativa de aprendizado da via glicolítica. Durante essa montagem, os estudantes utilizavam pistas para resolver o quebra-cabeça.

O presente projeto apresenta uma abordagem diferenciada do estudo da glicólise, viabilizada por meio de uma ferramenta computacional que armazena todas as informações sobre a utilização do usuário, as quais nos fornecem dados para discutir as habilidades e competências dos estudantes com relação aos conteúdos lecionados (termodinâmica, enzimologia) necessários para o entendimento da glicólise.

A utilização do programa possibilita ao usuário visualizar as onze reações da glicólise anaeróbica de forma animada, além de retornar a reações já feitas para compreensão das subseqüentes. A todo o momento, o usuário recebe *feedback* sobre os substratos necessários para a resolução das reações, e tem à sua disposição pistas referentes às funções das enzimas envolvidas na via e algumas outras que possibilitam a relação entre os conteúdos anteriormente abordados necessários para o entendimento das reações que compreendem a via metabólica em questão. Uma das dificuldades apresentadas por estudantes da disciplina de Bioquímica Básica foi abstrair as imagens estáticas dos materiais didáticos disponíveis (Yokaichiya, Galembeck *et al.*, 2000) para as reações químicas que envolveram uma mobilidade de figuras. A complexidade do assunto dificultou o aprendizado em um primeiro contato com o material. Uma vez mais, isso vem justificar a necessidade de desenvolvimento de material didático que possa ser manuseado pelos estudantes continuamente durante a aula e também extraclasse. Os fatores de interatividade e dinamismo dos recursos computacionais vieram ao encontro dessas dificuldades, percebidas em

um primeiro momento como estudante e depois como professor que precisava fazer-se entender, a fim de minimizá-las. Sob uma perspectiva, havia a possibilidade de diagnosticar as deficiências de entendimento, uma vez que junto ao programa existe a coleta de dados sobre sua utilização. Sob outra, agora do estudante ou usuário, a possibilidade de revisar a qualquer momento era muito importante. É interessante ressaltar as habilidades que podem ser desenvolvidas pelos estudantes durante a montagem da via glicolítica. Uma delas é o estabelecimento de relações que levam o usuário a fazer conexões entre assuntos e o impulsionam, como parte do desafio, a resolver as situações-problema. Leitura e interpretação são outras habilidades que, por meio do tutorial e das pistas, desenvolvem-se juntamente com a utilização de um repertório específico que se reflete no vocabulário utilizado para a compreensão do assunto. Na utilização do programa, a tomada de decisão é requisitada a todo o momento, pois, para finalização da reação, é necessário escolher figuras com finalidades específicas. A complexidade abstrata do assunto se mostra de forma concreta na apresentação das reações na tela do computador, desenvolvendo esse tipo de pensamento que em aulas tradicionais é pouco estimulado. A dedução também ocorre de maneira constante, quando o estudante faz comparações com base no conhecimento adquirido anteriormente e nas novas fontes para o entendimento do problema apresentadas no programa.

Percebemos que o dinamismo da disponibilidade do programa pode ocorrer em ambos os lados, discente ou docente, possibilitando um melhor aproveitamento do assunto estudado.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

A revisão bibliográfica apresentada a seguir compõe-se de diferentes assuntos relacionados ao trabalho de investigação desenvolvido. A discussão teórica tem por objetivos levantar aspectos relativos à informática no ensino, auxiliar o entendimento dos modelos de aprendizagem associados ao uso de programa educacional bem como sua avaliação e oferecer alternativas para o ensino.

Todas as revoluções na história do homem ocorreram associadas ao surgimento de ferramentas que expandiram de forma significativa a sua capacidade de manipulação do mundo (realidade), ou que expandiram a sua capacidade de comunicação e expressão (Ramos, 1996).

O ensino pelo computador pressupõe que, através da máquina, o estudante pode adquirir conceitos sobre praticamente qualquer domínio. Entretanto, a abordagem pedagógica de como isso acontece é bastante variada (Valente, 1993).

Em um primeiro momento, foram levantados aspectos referentes à informática no ensino, fazendo um resgate histórico sobre o uso das tecnologias tanto no ensino como no cotidiano das pessoas. Em seguida, foram pontuadas as questões sobre os tipos de programa, com uma breve discussão sobre as linhas de aprendizagem propostas por Vygotsky, Piaget e Paulo Freire, enfocando principalmente a abordagem construcionista.

2.1 A Informática no ensino

Uma das revoluções mais presentes e atuantes no cotidiano das pessoas é a tecnológica, a qual remonta ao século XVII (1642) com a criação de uma máquina de calcular pelo matemático francês Blaise Pascal, aperfeiçoada em 1670 pelo filósofo-matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz, quando passou então a realizar operações de multiplicação. Após esse advento, seguiram-se as pesquisas, a criação e o desenvolvimento de tecnologias de comunicação como o telefone, o código Morse, o telex, o fax e, por último, a Internet (Rosini, 2001). Ana Maria Rosini nos mostra que o homem já se preocupava em desenvolver ferramentas para automação das atividades cotidianas muito antes do aparecimento das invenções modernas como a televisão e o rádio. A máquina de calcular de Pascal, sem dúvida, encurtou o tempo dos cálculos, facilitando e criando atalhos para as questões matemáticas. Atualmente, mesmo com a enorme difusão da informática, ainda é possível encontrar resistência em relação ao uso de computadores e recursos

que ele oferece. Muitos profissionais que não têm ligação direta com a informática e são de uma geração alheia a esse tipo de modernidade deixam de utilizar os computadores nas aulas por desconhecerem as facilidades que o mesmo oferece.

Por outro lado, as novas gerações nascidas sob essa óptica estão expostas diariamente a esse tipo de tecnologia e o utilizam de forma natural, o que poderia ser mais bem aproveitado nas escolas. Os aparelhos celulares acessíveis à maioria da população são um claro exemplo de como a tecnologia chega a todas as classes sociais e é usada de forma corriqueira. O interesse das novas gerações pelos recursos tecnológicos é subutilizado pelos docentes, por falta de conhecimento ou pela simples aversão a novas formas de ensino.

Os avanços recentes nas tecnologias da informação antevêm a emergência de formas novas extremamente plásticas de produção de conhecimentos, onde aprendizes e gestores da cultura escolar (estudantes, professores, pais, pesquisadores e governo) possam escapar da educação tradicional em direção a novos cenários, atividades e conceitos do terceiro milênio (Meira, 2002).

Dentro desse cenário, os mais variados setores da educação moderna mostram a necessidade de inserir essas tecnologias no contexto educacional e trabalhá-las de forma a possibilitar a utilização dessas ferramentas no auxílio ao processo de ensino-aprendizagem, fazendo com que o estudante procure uma nova maneira de aprender, diferente da tradicional (Fiscina, 2004)

"Parece quase certo que o computador será utilizado amplamente na educação... mas não está claro se isto conduzirá a um sistema educacional pior ou melhor do que temos hoje"(Bork, 1985).

Percebemos que o estudante muitas vezes não tem o hábito de ir a bibliotecas em busca de informações. Isso se deve ao fato de existirem poucas bibliotecas públicas, distantes de alguns bairros localizados nas periferias dos grandes centros. Nem todas as escolas possuem bibliotecas, e as que possuem são deficitárias de atualizações. Já a Internet oferece uma gama de opções nesse sentido, pois se podem acessar bons, se não ótimos, referenciais bibliográficos, sejam eles nacionais ou estrangeiros. Existem órgãos que disponibilizam esse serviço gratuitamente, como o ACESSA São Paulo, que fica no Poupatempo, utilizado exclusivamente para busca de informações e serviços pessoais.

Se algumas formas de ver e agir parecem ter sido compartilhadas durante muito tempo (ou seja, se existem culturas relativamente duráveis), isso se deve a estabilidade das instituições, dispositivos de comunicação, formas de fazer, relações com o meio ambiente natural, técnicas em geral e uma infinidade de outras circunstâncias. Esses equilíbrios são frágeis... Basta que alguns grupos sociais disseminem um novo dispositivo de comunicação e todo o equilíbrio das representações e imagens será transformado, como vimos no caso da escrita, do alfabeto, da impressão ou dos meios de comunicação e transporte modernos (Levy, 2004).

As possibilidades de implantação de novas técnicas de ensino são praticamente ilimitadas, e contamos hoje com custo relativamente baixo para implantar e manter laboratórios de informática. Isso causa certa insegurança nos professores, que num primeiro momento temem sua substituição por máquinas e programas capazes de cumprir o papel antes reservado ao ser humano. Na verdade, o computador pode realmente provocar uma mudança no paradigma pedagógico, mas nunca pôr em risco a sobrevivência desses profissionais, visto que é apenas uma ferramenta de auxílio e reforço para melhor assimilação de conteúdo (Azevedo, 1997).

A informática pode proporcionar uma nova dinâmica ao processo de construção do conhecimento e favorecer o trabalho do professor, possibilitando que o conteúdo abordado seja apresentado por meio de imagens que ilustram e facilitam a compreensão das informações e dos conceitos propostos. Através do computador, é possível reunir diferentes tipos de mídias, permitindo a realização de atividades que exploram as diversas habilidades de cada indivíduo.

A instalação de computadores nas escolas nada mais é do que a introdução da informática como ferramenta de ensino dentro e fora da sala de aula, e isso se torna sinônimo de informatização da educação. Para haver um ensino significativo, as aulas precisam ser mais participativas e interativas, onde os educandos possam construir seu conhecimento e o educador possa utilizar a tecnologia para dinamizá-las, orientando seus estudantes (Freitas, 1999).

Para os professores, é evidente que as primeiras utilizações, tanto dos programas quanto das máquinas, são tão difíceis quanto qualquer introdução a novas tecnologias. Existe uma fase no aprendizado e familiarização com as ferramentas que leva alguns profissionais a desistirem de utilizá-las. Mas a perseverança no aprendizado faz com que as aulas preparadas e programadas com os novos recursos sejam otimizadas, inclusive com novas abordagens pedagógicas no ensino. Conforme dito anteriormente, a busca por informações atuais na Internet por parte dos estudantes também é positiva para os docentes, que encontram nesses meios subsídios

importantes, nem sempre atualizados nos livros, uma vez que muitas pesquisas científicas são publicadas em periódicos que, quando disponibilizados eletronicamente, democratizam o acesso. Um exemplo disso é o portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) (www.periodicos.capes.gov.br/portugues/index.jsp), no qual os internautas podem acessar, com o patrocínio da CAPES, algumas revistas científicas.

As pessoas aprendem de diferentes formas, e isso requer que o professor esteja atento ao tipo de motivação necessária para despertar o interesse do estudante para determinada área. Essas motivações consistem na influência de condições externas e internas (Libâneo, 2001).

Ramos (1996) cita a tecnologia no processo educativo, explicando sobre o seu potencial para produzir novas situações de aprendizagem, nas quais os estudantes podem passar a ser autores do seu processo de aprendizado com maior autonomia e, assim, deixar a passividade de quem apenas assiste a uma aula para intervir nos propósitos do próprio conhecimento. O estudante busca as informações que necessita para compreender os assuntos estudados. Um bom exemplo desse tipo de situação é o “*Problem-Based Learning*” – PBL, ou aprendizado baseado em problema, que remete o estudante à busca de soluções e informações para um determinado problema. Essa busca de informações é feita por meio de livros, mas muitas vezes é na Internet que se consegue o que é preciso para resolver as situações-problema. Essas novas tecnologias também são utilizadas em cursos não presenciais chamados de Ensino à Distância – EAD, disponibilizados por grandes universidades públicas e particulares. Na Unicamp, é possível encontrar esse tipo de serviço no endereço <http://www.extecamp.unicamp.br/>, além de entidades particulares como o Instituto Phorte, no endereço <http://www.phorte.com/shopping/index.php?id=56>. Isso viabiliza a comunicação, permitindo cooperação entre as pessoas envolvidas nos projetos por meio de vídeos-conferência, *chats*, fóruns e até mesmo o *Microsoft Service Network* (MSN), famoso pelas comunicações por meio de mensagens instantâneas, entre outros recursos. Independentemente do tempo ou lugar onde os usuários se encontram, é possível um grau de interação, cooperação e desenvolvimento das informações favorecido por essas ferramentas.

As situações propiciadas por metodologias de ensino que utilizam a informática podem auxiliar na motivação pessoal para a busca da resolução dos desafios educacionais elaborados pelos professores. Valente (1993) discorre sobre o fato de que, com o uso dessa tecnologia, é

possível desenvolver o raciocínio das pessoas, capacitando-as para a resolução de situações-problema complexas.

Na área biológica não é diferente. Com os recursos de hiperídia, é possível facilitar a compreensão do estudante, permitindo, por exemplo, uma visão mais próxima do que ocorre nas transformações sofridas pelas substâncias no organismo vivo. Isso facilita a compreensão de rotas metabólicas e oferece ao estudante maior interação com os conteúdos e, conseqüentemente, melhor aprendizado (Azevedo, Lazzarotto *et al.*, 2004). Observamos isso em qualquer faixa etária, quando surge a necessidade de se trabalhar com estruturas mais abstratas ou tridimensionais. As visualizações de vídeos produzidos em um computador podem contemplar a dinâmica dos conceitos, principalmente quando estes exigem uma maior capacidade de abstração ou aspectos éticos referentes aos sacrifícios de animais apenas para o aprendizado de determinados conceitos biológicos.

Na verdade, a ciência ainda conhece pouco sobre o processo de construção do intelecto humano. Não há uma resposta simples e livre de contradições sobre como o homem aprende. Assim, o conceito de autonomia no aprendizado, ou do aprendizado da autonomia, não é de fácil compreensão (Ramos, 1996). Estudantes do mesmo ano possuem autônias de aprendizado em diferentes estágios, o que implica em diversas abordagens pelo professor para que haja uma maior homogeneidade na busca dos conceitos.

Rosini (2001) diz que as tecnologias procuram aproximar homens de diferentes culturas, criando assim um novo paradigma mundial. O percurso da evolução da comunicação nos mostra que a tendência à abrangência do conhecimento está baseada na inexistência de dimensões territoriais ou do espaço virtual. Ao se referir a folhetins como forma de democratização do conhecimento, telefone, fax, Internet e vídeos-conferência conseguem alcançar a dimensão da educação à distância e vislumbrar um futuro em que isso seja corriqueiro. Não podemos, no entanto, acreditar na extinção da função das pontes para se chegar à informação e, conseqüentemente, à compreensão dos fatores que impulsionam as áreas do conhecimento. O professor, o tutor, o orientador são de extrema importância, pois sempre instigarão o estudante ou até mesmo o curioso a aprofundamentos e reflexões necessários para a percepção dos fenômenos naturais, biológicos, sociais, culturais, entre outros.

No ensino de Biologia, recursos visuais são amplamente usados, sendo comum encontrar modelos, tanto macro como microscópicos, para facilitar a compreensão desses conteúdos

(Hornink, 2006). Por exemplo, quando na aula de enzimas se objetiva a visualização das estruturas primárias, secundárias, terciárias e quaternárias, é difícil a análise sem utilização de modelos tridimensionais obtidos através da cristalografia. Hoje, já existe um banco de estruturas protéicas que são encontradas na *World Wide Web (WEB)* (Ferreira, 1995) no formato de *Protein Data Bank (PDB)*, ou Banco de Dados de Proteína. O PDB (Wwpdb, 1971) é um banco de dados em 3D das estruturas de proteínas e ácidos nucleicos, que, através de um programa de computador desenvolvido para visualização molecular gráfica chamada Rasmol (Rasmol¹) (Martz, 1995), possibilita ao estudante ampliar (*zoom*), girar, selecionar, verificar nomes, modificar a forma de visualização da enzima e perceber de maneira autônoma as dimensões microscópicas da enzima em relação ao seu substrato. O programa desenvolvido neste trabalho possibilitou não só a visualização das estruturas, mas também a manipulação e o estabelecimento de relações para que as reações ocorressem. A interação do estudante com o programa foi um desafio para resolver as inúmeras possibilidades matemáticas de acerto de composição. Para a primeira reação da glicólise anaeróbica, temos a possibilidade de mais de oitenta mil combinações. Nesse caso, as pistas (informações presentes no programa) serviram como limitador dessa opção, comunicando-se com o estudante e fazendo com que ele percebesse as relações provenientes do estudo desse assunto.

2.2 Tipos de programa

Segundo Ramos (1996), existem alguns tipos de programa que são definidos de acordo com os objetivos a serem atingidos. Ele os classifica em cinco categorias, distinguindo-as de acordo com sua estrutura e, conseqüentemente, sua programação. Hipertexto/Hipermídia, Exercício e prática, Tutorial, Simulação e Modelagens e Jogos são os tipos que Ramos dispõe na sua classificação.

No Hipertexto, podem-se interligar pedaços de textos ou outros tipos de informação usando palavras-chave. Encontram-se geralmente nos ícones de ajuda, que orientam sobre determinadas ações.

O programa caracterizado pelo exercício e prática desenvolve as habilidades pertinentes ao estabelecimento de relações e as diversas formas de conexão dos assuntos, como interpretação e repertório adequado de conteúdos já conhecidos. Os programas de perguntas e respostas são

¹ Rasmol – <http://www.umass.edu/microbio/rasmol/>

exemplos desse tipo de programa, em que os erros são considerados positivos e servem para auxiliar o estudante na solução de novos desafios.

No tutorial, o assunto estudado pode introduzir novos conceitos e ajudar na apresentação das aulas como um recurso complementar.

Outro tipo de programa é o que utiliza simulações e modelagem, que possibilitam aproximar o pensamento abstrato do concreto à medida que consegue mostrar situações que não conseguimos ver a olho nu. Para estudantes que nunca visualizaram processos do corpo humano, é difícil abstrair alguns fenômenos microscópicos. Com recursos de informática, a interação é mais fácil e o aprendizado, mais significativo.

Existe, porém, outro tipo de recurso que, às vezes, é confundido com o da modelagem - os jogos. Eles propõem um desafio que geralmente se apresenta na forma de competição. Os conteúdos trabalhados são inseridos em ambientes propícios para chamar a atenção e desenvolver determinadas habilidades por meios lúdicos. O interessante nesse tipo de programa é poder também trabalhar as motivações pessoais e em grupo, podendo relacionar comportamentos que não são só acadêmicos, mas também de cooperação. Com jogos, aprende-se a negociar, persuadir, cooperar, respeitar a inteligência dos adversários, projetar conseqüências a longo prazo em um cenário e enxergar o todo, não somente as partes.

2.3 A avaliação de um programa educacional

Buscando referenciais teóricos de avaliação dos programas dispostos nas aulas, (Brandão, 1998) afirma ser inegável o fato de que a informática trouxe benefícios à educação. Entretanto, o uso do computador em si não é suficiente para garantir o aprendizado. Para avaliar os programas usados na área educacional, ela propõe uma avaliação com perguntas que, mesmo antes de a informática ser um instrumento didático, já faziam parte da preparação das aulas pelos professores. Procuramos responder aqui essas perguntas:

1. Qual o objetivo do programa didático? É uma ferramenta alternativa para o ensino da via glicolítica, que possibilita ao estudante e ao professor uma abordagem diferenciada do assunto, bem como a retomada de conceitos anteriormente abordados em aulas de bioquímica.
2. Quais as estratégias didáticas utilizadas? O programa possibilita varias possibilidades de estratégias para o ensino da via metabólica, dentre elas as aulas expositivas, palestras,

estudo a distância, como material para revisão, dentre as várias possibilidades apresentadas o programa foi utilizado pelos alunos através do montagem da via metabólica passo-a-passo sendo monitorada esta utilização.

3. De que tipo de argumento o programa trata predominantemente? Dentro das categorias utilizadas por (Ramos, 1996), O programa Glicólise Anaeróbica se enquadra em Hipertexto e Exercício e prática, pois possibilita a simulação das reações da via em questão.
4. A que clientela está mais voltado? Estudantes de graduação e pós-graduação que tenham no seu currículo básico disciplinas que envolvam esse tipo de conteúdo.
5. De que maneira explora os conteúdos? Com exercícios interativos referentes a simulações das reações de Glicólise Anaeróbica juntamente com informações de conceitos necessários para a solução dos problemas.
6. Com que ferramenta foi produzido? Com o programa produzido pela Adobe denominado Flash² e a linguagem de programação foi utilizado ActionScript.
7. Quais os problemas mais freqüentes apresentados? Questões de logística, em que o computador não possui o *plugin* Adobe Flash Player atualizado, que se pode baixar gratuitamente do próprio *website* da Adobe³, ou ainda o usuário não possui conexão com a rede mundial de computadores.
8. Quais os impactos provocados pelo programa? O impacto visual da transformação molecular, os conflitos conceituais, a amplitude de uso nas áreas biológicas e a manipulação independente pelo estudante.
9. Qual o grau de interatividade que apresenta? Alto grau de interatividade, pois a todo o momento o programa exige procedimentos do estudante.
10. Qual a interface utilizada? A interface utilizada no desenvolvimento deste programa foi a do Microsoft Windows.
11. Qual a configuração ideal para sua execução? Um exemplo de configuração mínima necessária para utilização do programa é: processador Pentium III - 550 MHz - Memória: 128 MB - HD: 10 GB – Rede, algum dos sistemas operacionais mais utilizados no dia-a-dia instalado (normalmente utilizado em computadores domésticos que possuam

²

Software licenciado pela UNICAMP

³

http://www.adobe.com/br/downloads/?ogn=BR-gn_dl_br

Windows, Linux e Mac OS X). Nesses sistemas operacionais, existe um programa (navegador) onde já se encontra pré-instalada uma versão do Adobe Flash Player.

12. Qual a avaliação final por parte do usuário? Ao final, o usuário do processo tem a possibilidade de avaliar a montagem da via, os conceitos e a metodologia utilizada na aula em discussões dentro dos grupos, fato este não quantificado neste trabalho.
13. Quais as contribuições do programa à concessão dos objetivos didáticos propostos? Material didático diferenciado, nova forma de abordagem do conteúdo, interatividade com o estudante, visualização, possibilidade de abstração.
14. Quem vai avaliar o programa? Os estudantes.

Durante a construção do programa, levou-se em consideração como pré-requisito o formato de avaliação proposto por Brandão. As respostas são referentes ao programa desse trabalho, facilitando o seu enquadramento nas aulas. Assim, é possível ter uma visão mais detalhada na avaliação do uso de programa como ferramenta para o auxílio nas aulas.

2.4 Ensino e Aprendizado

As teorias que norteiam o desenvolvimento e a aprendizagem estão relacionadas em três categorias principais. A primeira delas leva em consideração a independência entre o processo de desenvolvimento e o de aprendizagem. Nessa teoria, considera-se a aprendizagem como um processo exterior, que anda em par de igualdade com o processo de desenvolvimento (Vygotsky, Luria *et al.*, 1988). O processo de aprendizagem somente utiliza o resultado do desenvolvimento.

Segundo Valente (2001), Piaget observou que a criança constrói seus próprios conceitos porque interage com o meio em que vive. Essa interação pode propiciar o desenvolvimento de esquemas mentais, contribuindo para o próprio aprendizado. O desenvolvimento desses esquemas se faz pela própria mente, não pelo processo de ensino. Ainda sobre a teoria acima citada, (Vygotsky, Luria *et al.*, 1988) explicam que o raciocínio, a inteligência e sua forma lógica do pensamento abstrato não são influenciados pelo processo exterior quando se trata de ensino, ou seja, o processo interior de aprendizagem ocorre espontaneamente de forma específica nessa hipótese.

A segunda teoria, ao contrário da primeira, aponta para a relação entre o processo de aprendizagem e o de desenvolvimento, ou seja, a aprendizagem é o desenvolvimento. Essa teoria propõe que o desenvolvimento nada mais é do que o acúmulo de reações que durante algum tempo estiveram inativas e foram suscitadas por objeto, substituindo-as por essa nova reação. Dentro dessa filosofia de estudo, os processos de aprendizagem e desenvolvimento estão intimamente ligados, uma vez que a aprendizagem auxilia o desenvolvimento e o desenvolvimento auxilia a aprendizagem. Muitas vezes, não é possível distinguir esses dois processos devido a sua sobreposição.

A terceira linha que estuda o processo de aprendizagem e desenvolvimento utiliza-se das duas teorias anteriores, definindo que o desenvolvimento ocorre independentemente da aprendizagem. Em contrapartida, é através da aprendizagem que ocorre a mudança na forma de comportamento, que coincide com o desenvolvimento. Koffka, citado por (Vygotsky, Luria *et al.*, 1988), ainda propõe outra relação nessa teoria: a de que a maturação depende diretamente do desenvolvimento.

As diversas formas de ver essa relação entre aprendizagem e desenvolvimento trazem um novo ponto de vista descrito com a teoria da Zona Proximal de Desenvolvimento (ZPD) proposta por (Vygotsky, Luria *et al.*, 1988). Essa teoria leva em conta que a aprendizagem sempre tem algo anterior ao ensino formal, ou seja, a aprendizagem de um novo conceito sempre está baseada em algo já adquirido anteriormente. Refletindo sob essa óptica, nunca partimos do zero, mas sim de algo anteriormente preparado através de experiências passadas. Portanto, esse primeiro “nível” de desenvolvimento é denominado nível de desenvolvimento efetivo. Nesse estágio, o desenvolvimento psicointelectual é o resultado de um processo já realizado. O segundo estágio proposto por (Vygotsky, Luria *et al.*, 1988) é o estágio de desenvolvimento potencial. Nessa fase, o desenvolvimento se dá através do auxílio de um tutor. Este se torna uma ponte entre o estudante e seu deslocamento em direção ao entendimento, possibilitando o aprendizado. Isso não quer dizer que o tutor tenha que facilitar as conclusões ou dar respostas prontas, pois o deslocamento acontece quando o estudante se sente estimulado por um novo desafio que vai além da sua zona de desenvolvimento efetivo. O grande dilema deste estágio é definir até que ponto o auxílio do tutor é efetivo no aprendizado. Também temos que considerar a exigência do conteúdo abordado e a real capacidade de aprendizagem do estudante. Caso o conteúdo seja superior ao estágio de desenvolvimento potencial, sua eficiência pode não adicionar desenvolvimento algum ao

aprendiz, chegando a desmotivá-lo, ou ainda se o tutor não lhe proporcionar um estímulo superior ao seu desenvolvimento efetivo, poderá ocorrer desinteresse. Caso o estímulo seja adequado dentro dessa zona de desenvolvimento potencial, o aprendiz passará a adquirir maior amplitude do seu estágio de desenvolvimento efetivo, empurrando assim o nível de desenvolvimento potencial e possibilitando o aprendizado.

Segundo Vygotsky (1988), a finalidade do professor seria justamente trabalhar com seus estudantes dentro da zona de desenvolvimento potencial. De maneira geral, os professores, junto às tecnologias, teriam um papel ativo nesse processo em vez de serem “meros” observadores. No projeto em questão, as teorias de Vygotsky vão ao encontro da metodologia proposta quando expõe o estudante a diferentes formas de organizar o pensamento e expressá-lo de maneira lúpicista e ao mesmo tempo conceitual, aproveitando sua vivência e o ensino formal em situações que estimulam sempre novas etapas.

2.5 Os programas computacionais no ensino de bioquímica

Os programas desenvolvidos nos institutos de pesquisas com fins educacionais podem ser usados para diversas finalidades, dentre elas a utilização individual à distância, em sala de aula com apresentação pelo professor, ou ainda a manipulação em grupo na sala. Para o professor que prepara uma ferramenta específica como essa, é oportuno salientar a riqueza dos procedimentos e a precisão nos detalhes, principalmente na elaboração segundo os objetivos das dinâmicas oferecidas. Essas ferramentas geralmente são utilizadas para facilitar o entendimento do estudante, como menciona (Alves, 2005). (Yokaichiya, Fraceto *et al.*, 2004) ainda acrescentam recursos computacionais empregados no ensino de Bioquímica relacionados à visualização de moléculas Rasmol, animações de reações, apresentações de *slides*, laboratórios virtuais, Bioinformática e bibliotecas digitais (Biblioteca Digital de Ciências – BDC⁴).

Os programas educacionais possuem um grande potencial, podendo substituir diversos métodos convencionais de ensino, mas isso depende de como essa tecnologia é utilizada (Heineck, Valiati *et al.*, 2007). Não adianta utilizar ferramentas sofisticadas sem um significado ou objetivo pedagógico, pois isso pode funcionar como desestimulador, fazendo com que o estudante perca o interesse devido ao não conhecimento básico de informática. Portanto, é aconselhável que sejam formuladas aulas de introdução para diagnosticar os diferentes níveis de

⁴ BDC – <http://www.ib.unicamp.br/lte>

acessibilidade e proporcionar maior aproveitamento dos objetivos pedagógicos sem a influência da parte de procedimento na utilização de um computador.

O uso de modelos visuais e simulações simples oferecem aos tutores ferramentas úteis para ajudar os aprendizes a se apropriarem dos modelos, reconhecerem seus domínios de aplicabilidade e capacitarem-se para usá-los e contestá-los, transcendendo a memorização de nomes de organismos, sistemas ou processos. (Galembeck, Torres *et al.*, 2004)

Galembeck (1998) alegou que os laboratórios virtuais de Bioquímica eram raros. Hoje, com a difusão e acessibilidade da tecnologia nas áreas educacionais, observamos o surgimento de laboratórios que conseguem disponibilizar não só programas, como é o caso da BDC, mas também outros materiais educacionais virtuais gratuitamente. Esse projeto de pesquisa não só disponibilizou o programa Glicólise Anaeróbica, mas também outros dois programas sobre o Ciclo de Lynen e o Ciclo de Krebs⁵.

O uso de TI possibilita o aumento das relações entre as informações (processos mentais realizados pelo estudante) é caracterizado pelas taxonomias de Bloom (Rodrigues, 1994) e Solo (BIGG), que detalham os níveis de relação e a hierarquização dos níveis de estruturação mental. Essa base teórica nos permite relacionar os resultados atingidos pelos estudantes com os resultados esperados e compreender em quais níveis de estruturação mental (relativos aos processos cognitivos) os estudantes se encontram e atingem após a utilização do programa.

2.6 Conceitos de bioquímica utilizados no programa

Uma das funções da disciplina de *Bioquímica* consiste no ensino dos conhecimentos teóricos e práticos, que permitam ao discente apreender os fundamentos e a lógica da organização dos sistemas biológicos. Abordando os princípios fundamentais da organização, composição e estrutura dos sistemas biológicos (Marzzoco e Torres, 2007). Dentre os diversos conteúdos abordados nas disciplinas de bioquímica básica temos como o objeto de estudo as vias metabólicas dentre elas temos o ciclo uréia, ciclo de Krebs, gliconeogênese, glicólise aeróbica, glicólise anaeróbica (Leningher, Nelson *et al.*, 1995). O programa utilizado neste trabalho apresenta uma alternativa para o estudo de uma via metabólica,

Um exemplo da importância do aprendizado do funcionamento destas vias é o da contração muscular. As contrações musculares intensa podem levar a um abaixamento do pH

⁵ BDC – <http://www.ib.unicamp.br/labex/software.html>

celular devido a reação de hidrólise de ATP (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004), muitos mitos referentes a esta queda do pH se atribui a glicólise anaeróbica, não sendo isto verdade, pois a glicólise anaeróbica tem como saldo final o equilíbrio entre a produção e a recaptção de hidrogênio (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004).

No programa este conceito de queda do pH esta exemplificado de forma implícita, pois não há nem um texto falando sobre este conceito, mas o usuário ao final da última reação pode perceber que os hidrogênios produzidos são consumidos dentro da própria via, não possibilitando assim a queda de pH.

Ainda referente à contração muscular intensa a demanda por energia é extremamente grande dependente da intensidade e duração do estímulo. Sabendo-se que a reserva de adenosina trifosfato (ATP) na musculatura não é suficiente para manter a contração muscular intensa por um tempo prolongado, o organismo abre mão de recurso para restabelecer este composto. Sendo o ATP um composto essencial do metabolismo, sua hidrólise a adenosina difosfato (ADP) e um fosfato inorgânico e um próton apresenta um ΔG° igual a -31 KJ.mol^{-1} (Marzzoco e Torres, 2007), com este valor de ΔG° o ATP pode ser considerado um composto rico em energia.

Mas o que seria o ΔG° , Marzzoco (2007) definiu como uma variação de energia livre do instante inicial até o momento em que a reação entra em equilíbrio nas seguintes condições: temperatura 25°C , pressão de 1 atmosfera, $\text{pH} = 7$, e concentrações iniciais de reagentes e produtos a 1 Molar.

Através do valor do ΔG° podemos indicar qual sentido a reação acontecerá, quando o valor é negativo a reação se processa no sentido em que a mesma está escrita se for positivo a reação se processa em sentido contrário que foi escrita.

Reagente \rightleftharpoons Produto ΔG° negativo

Reagente \leftleftharpoons Produto ΔG° positivo

Este conceito de ΔG° se faz necessário para a resolução de duas reações da glicólise anaeróbica, a primeira e a terceira reação, onde é apresenta a informação de que nestas reações o ΔG° possui um valor positivo, impossibilitando que a mesma ocorra no sentido no sentido do reagente para o produto.

Neste caso para a reação acontecer será necessário o acoplamento de uma reação que possui um ΔG° negativo, e a somatória destes valores com o positivo resultaria em um ΔG° negativo. Assim neste caso abordando o conceito de reação acoplada, mas não de forma explícita.

Outro ponto a ser observado com a conclusão deste programa é a não formação de ácido láctico, sendo este conceito de formação de ácido láctico muito comum no meio informal.

Dentre os vários conceitos que de forma não explícita podemos observar a importância das enzimas nas reações bem como sua especificidade, sendo estas necessárias em todas as reações.

3 OBJETIVOS GERAL

Propor a utilização de tecnologia computacional como estratégia de ensino de bioquímica (glicólise anaeróbica).

4 OBJETIVO ESPECÍFICO

- 1) Propor a utilização de programa de computador ilustrado como meio principal para o ensino da via metabólica.
- 2) Verificar se a utilização do programa de computador facilita a montagem da via metabólica, glicólise anaeróbica pelos estudantes.
- 3) Identificar dentre as onze reações que compreendem a glicólise anaeróbica quais são as dificuldades apresentadas durante a montagem da via pelos usuários, levando-se em consideração os substratos, enzimas e coenzimas necessárias para cada reação.

5 METODOLOGIA

Esse trabalho foi dividido em quatro etapas que se distinguem conforme os pré-requisitos de execução do projeto. Primeiramente, houve o levantamento do conteúdo necessário para a elaboração do programa, que incluía também a busca teórica dos itens que espelhariam as telas do programa. Houve então a necessidade do aprendizado de algumas linguagens computacionais como o Flash (Geschke e Warnock, 1982), *Personal Home Page Tools* - PHP (Lerdof, 1995), MySQL (Mysql, 1995 - 2008) é um sistema de gerenciamento de banco de dados livre que utiliza a linguagem SQL (Structured Query Language - Linguagem de Consulta Estruturada) (Wikipédia, 2008), o estudo destas ferramentas possibilitaram a construção, desenvolvimento e a elaboração do programa, visando a uma alternativa didática de ensino de bioquímica com ênfase na via de degradação anaeróbica da glicose. Concluída essa etapa, foi feita a aplicação do programa e coleta de dados nas turmas, permitindo a análise da forma de utilização pelos estudantes.

5.1 Descrição das etapas

Começaremos pelas linguagens computacionais e recursos de edição utilizados na elaboração do programa.

A ferramenta utilizada para a construção do programa foi o Adobe Flash (Geschke e Warnock, 1982), que, além de suportar imagens e vídeos, é muito utilizado para produção de animações que podem ser vinculadas às páginas da Internet. Com o programa, foram utilizados basicamente dois tipos de ferramentas, de desenho e de programação – ActionScript (Macromedia, 1999), como mostra a figura 1.

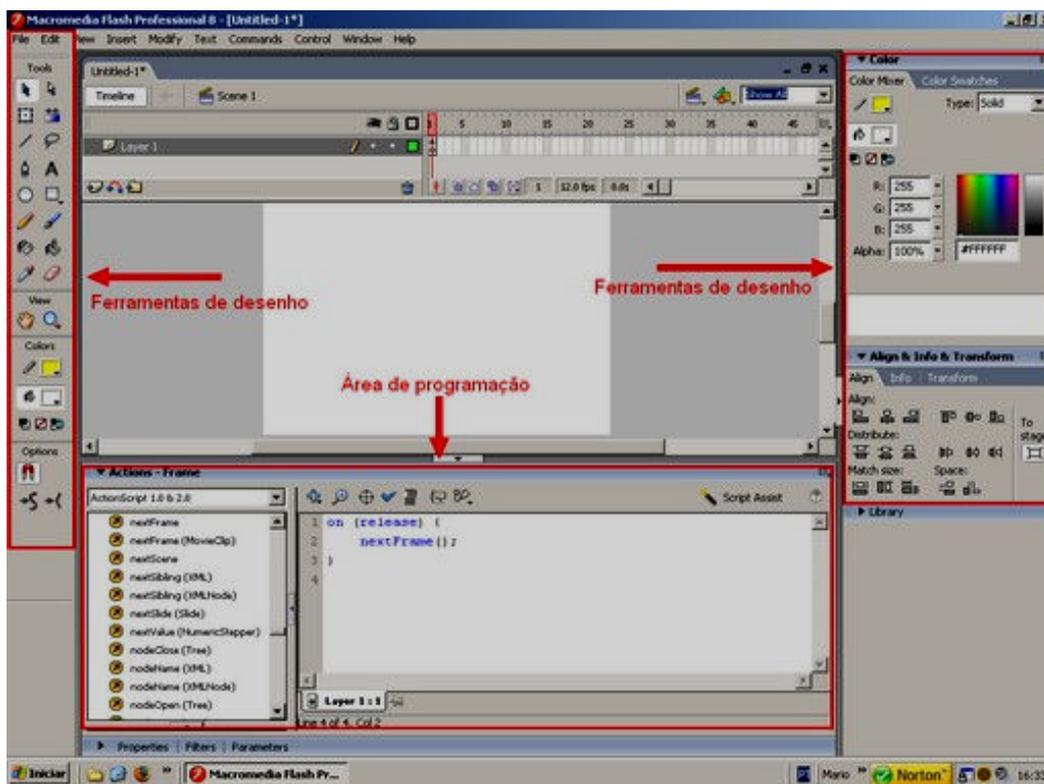


Figura 1: Tela principal do programa Adobe Flash.

A ferramenta de desenho possibilitou a criação das animações, parte textual, o *layout* e os *links*. As animações utilizadas foram o deslocamento e modificações das estruturas moleculares lineares dos substratos e produtos necessários para as onze reações. No anexo 1 temos a apresentação de todos os substratos por reação. O movimento originado pelas animações, apesar de ser produto de comandos existentes no programa, foi concebido de acordo com as necessidades de visualização, com liberdade de criação. As imagens da figura 2 mostram a tela inicial do programa e a tela do palco onde as reações aconteceram, exemplificando a parte visual que foi explorada nas ferramentas disponíveis do Flash.

A linguagem de programação (ActionScript) possibilitou a interação da imagem com a ação, todo o funcionamento do programa de computador depende desta linguagem. O usuário ao clicar em quaisquer comandos (Botões, imagens, figuras) disponíveis na tela do computador automaticamente recebia uma ação do programa, estas ações poderiam ser:

- Modificação na estrutura dos substratos disponíveis na tela.
- Uma mensagem de texto.

- A possibilidade de visualizar a estrutura em tamanho maior.
- Clicar e arrastar os substratos ou as enzimas.
- Visualizar as pistas.
- Ir para uma próxima reação.
- Visualizar a reação anterior.
- Limpar todos os substratos do palco principal.

A criação do programa só foi possível através da união das ferramentas de desenho com a linguagem de programação.

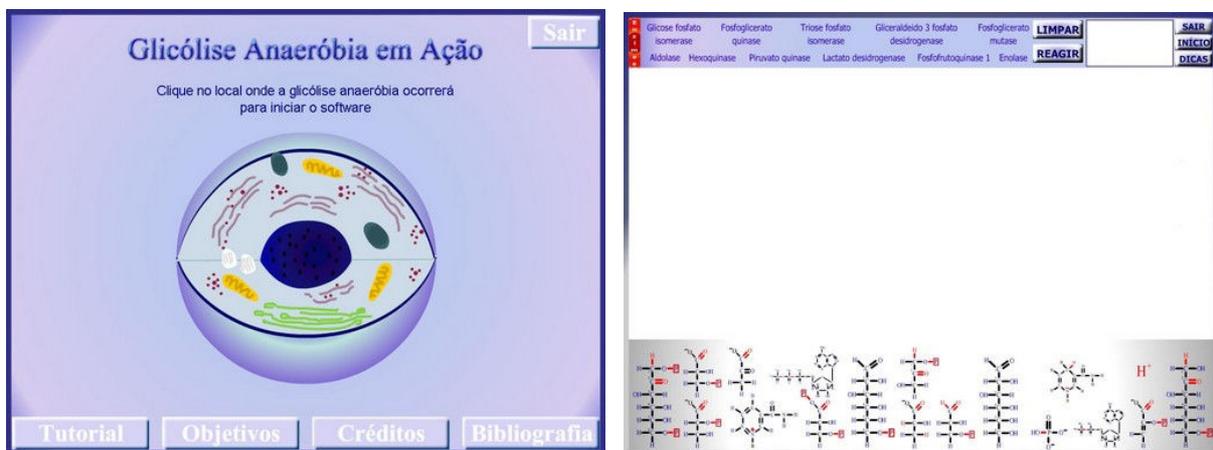


Figura 2: Tela de abertura do programa (tela inicial) e tela do palco principal.

Na tela de abertura, o programa apresenta um comando que gera a tela do palco principal, onde as reações serão manipuladas de acordo com as pistas de utilização. Esses comandos realizados pelos usuários podem se manifestar aleatoriamente ou com o auxílio de um tutorial (figura 3), que orienta o usuário sobre a forma de utilização.

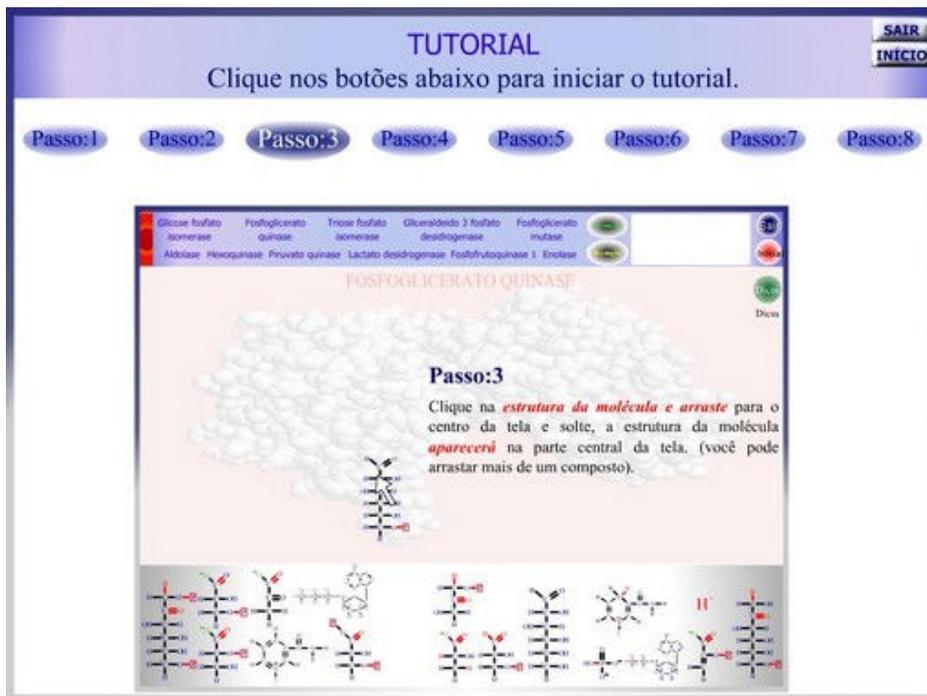
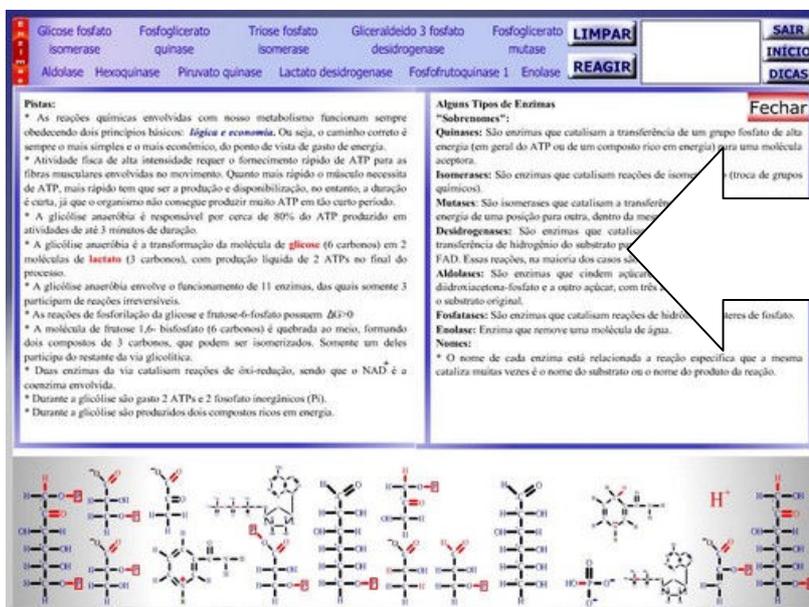


Figura 3: Tutorial é a área do programa de computador através da qual os usuários eram orientados na forma de utilização.

O tutorial do programa não oferece a solução para o desafio proposto, fazendo com que o estudante recorra a seu repertório pessoal ou às pistas (figura 4).



Detalhe do texto da pista

Alguns tipos de enzimas

“Sobrenomes”

Quinases: são enzimas que catalisam a transferência de um grupo fosfato de alta energia...

Figura 4: Recurso de pista

Esse recurso traz informações contidas em uma área do programa que a todo o momento pode ser acessada pelo usuário para auxiliar na resolução das reações.

Vale ressaltar que apenas uma “pista” não solucionará o desafio. Muitas vezes é necessário que o estudante tenha em seu repertório de aprendizado conceitos anteriores (ver seção 2,6). Todas as pistas são apresentadas no anexo XVI.

Outra forma de auxílio é a “pista rápida”, que aparece no alto da tela como se pode observar na figura 5 com destaque em vermelho. Ela usa o erro do usuário para direcioná-lo a outro raciocínio proveniente de uma informação estratégica para a solução do problema.

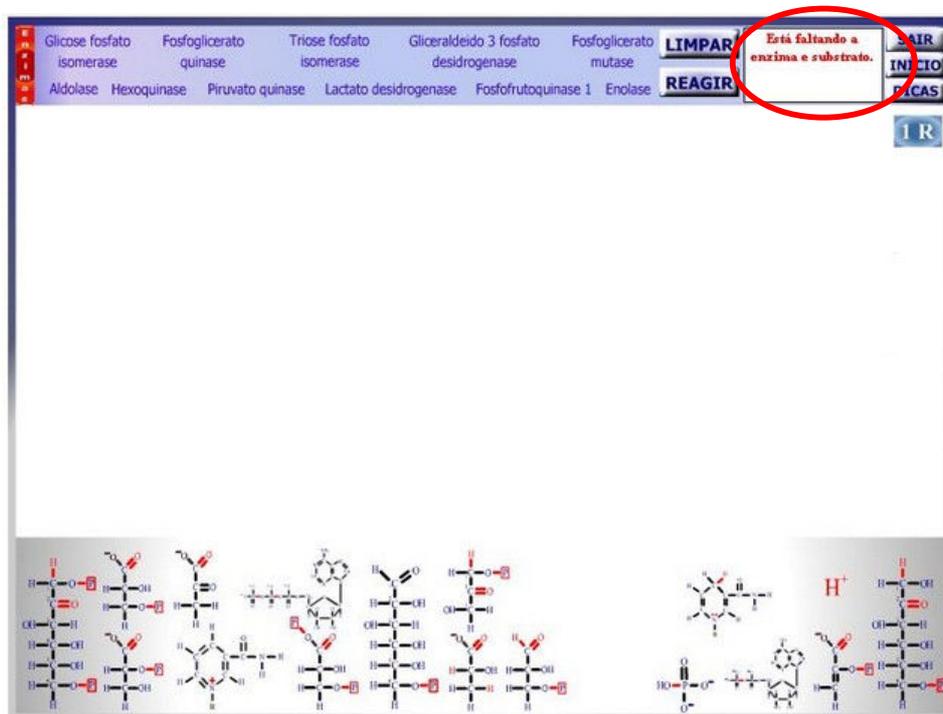


Figura 5: A pista rápida traz informações instantâneas que a todo o momento auxiliam e orientam o usuário na resolução de cada reação específica.

Essas pistas aparecem quando o estudante clica no botão “REAGIR”. Esse recurso possui três informações básicas: está faltando à enzima ou o substrato; verifique a enzima; verifique o substrato. Geralmente, quando aparece a informação “falta à enzima”, não foi adicionada nenhuma enzima. Já quando o programa apresenta na pista rápida “verifique a enzima”, isso significa que a enzima não pertence àquela reação, o mesmo pode acontecer com o substrato.

Outra linguagem utilizada no desenvolvimento do programa foi a PHP, que possibilita o armazenamento de informações em um banco de dados. Cada vez que o usuário clica em um objeto no programa, é enviada a um banco de dados uma informação como sua identificação, dia e horário, objetos acessados, seqüência de reações, número de tentativas, entre outras que mais adiante serão apresentadas no levantamento e tratamento estatístico.

Para finalizar o programa, devem ser realizadas as onze reações (disponíveis no anexo 1) que envolvem a glicólise anaeróbica seqüenciais, sendo que para o usuário tentar a segunda reação o mesmo terá que acertar a primeira. Durante todas as onze reações, as informações são armazenadas em uma seqüência lógica, respeitando-se a seguinte ordem: substrato, coenzimas, enzimas, próton e fosfato (anexo 15). As seqüências destas combinações são armazenadas em um banco de dados sempre que o usuário clicar no botão “REAGIR”. Por exemplo, a seqüência correta dos substratos necessários para a resolução da primeira reação da glicólise “substrato glicose, coenzima ATP e a enzima hexoquinase” armazenará no banco de dados a seguinte seqüência (01 13 19 00 00), onde 01 corresponde à glicose, 13 à ATP, 19 à hexoquinase e 00 a branco. Caso um destes substratos estivesse errado a seqüência contendo este seria armazenada no banco de dados, e o usuário passaria a segunda tentativa da primeira reação, até que o mesmo obtivesse a seqüência correta. Caso o usuário desista em qualquer reação o dado do mesmo será analisado até a reação que o mesmo fez. De posse dessas informações, são feitos os tratamentos estatísticos.

5.2 Aplicações do programa nas turmas

Para a aplicação do programa de computador nas turmas o mesmo foi hospedado no site <http://www.ib.unicamp.br/labex/software/login.htm>, sendo necessário o cadastro do usuário (Nome, *login*, senha e e-mail) para o acesso ao programa.

O programa foi aplicado em 7 turmas (tabela 1) que tinham em comum o estudo das vias metabólicas. Dentre as turmas, temos estudantes dos cursos de Medicina, Enfermagem, Educação Física e Biologia.

Em todas as turmas o tempo de utilização/ aplicação do programa de computador foi de duas horas aulas.

Todas as aplicações/utilizações ocorreram em 2007, distribuídas ao longo do ano. A disposição das turmas indica a seqüência de uso, que compreende o período de março a outubro

do ano citado. Durante a utilização do programa pelas turmas, foram armazenadas em um banco de dados as informações referentes ao uso.

Tabela 1: Total de estudantes matriculados nas disciplinas que utilizaram o programa

Período	Universidade	Curso	Disciplina	Ano	Nº Estudantes
Manhã	UNICAMP	Enfermagem	Bioquímica Básica	1º	47
Manhã	IASP	Educação Física	Fisiologia	1º	35
Noite	IASP	Educação Física	Fisiologia	1º	54
Manhã	UNICAMP	Ciências Biológicas	Bioquímica Básica	1º	42
Noite	UNICAMP	Ciências Biológicas	Bioquímica Básica	1º	44
Noite	UNICAMP	Educação Física	Bioquímica Básica	1º	54
Integral	UNICAMP	Medicina	Morfofisiologia Humana	1º	60
Total de estudantes					336

A primeira turma a utilizar o programa foi a de Enfermagem da UNICAMP cursando o 1º ano da disciplina BB123 - Bioquímica Básica I, com um total de 47 estudantes e 4 monitores. Foram utilizadas duas aulas no período da manhã, sendo que houve uma introdução referente a Glicólise Anaeróbica. Os estudantes se distribuíram em grupos de três a cinco pessoas em computadores *on-line*. Durante o uso do programa, estiveram à disposição dos estudantes para sanar eventuais dúvidas a professora, quatro monitores e o responsável pelo desenvolvimento do programa.

A segunda e a terceira turmas eram compostas de estudantes do curso de Educação Física do Instituto Adventista de São Paulo – IASP cursando o 1º ano da disciplina Fisiologia. Nessa instituição, a aplicação se deu no período diurno com 35 estudantes e noturno com 53. Nessas turmas, devido à disponibilidade de equipamentos, os estudantes utilizaram o programa individualmente.

A quarta turma, o procedimento foi semelhante aos anteriores. Foram estudantes do 1º ano do curso de Medicina da UNICAMP da disciplina BS110 - Morfofisiologia Humana. Com um total de 110 estudantes, a turma foi dividida em duas. Entretanto, devido a problemas técnicos, a coleta de dados só aconteceu com uma turma, apesar de todos participarem da aplicação do programa. Foram formados grupos de dois a três estudantes em cada computador.

A quinta e a sexta turmas que utilizaram o programa foram estudantes da disciplina BB280 - Bioquímica Básica do 1º ano do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UNICAMP dos períodos diurno e noturno. A turma do período diurno era composta por 42

estudantes, e a do noturno por 44 estudantes. Durante a utilização do programa tanto pela turma do diurno quanto pela turma do noturno, ficaram à disposição dos estudantes o professor responsável, quatro monitores e o responsável pelo desenvolvimento do programa. Os estudantes do noturno utilizaram o programa individualmente e em grupo, e a turma do diurno, por estar em menor número, pôde utilizá-lo individualmente.

A última coleta de dados foi feita com estudantes do curso de Educação Física da UNICAMP da disciplina BB110 - Bioquímica Básica do período noturno, a qual era composta de 54 estudantes do 1º ano. Durante a utilização do programa pelos estudantes, houve a participação de cinco monitores para atendimento.

O tratamento estatístico

Neste projeto foi utilizada, como procedimento para a análise dos dados, a estatística descritiva. Através desta utilizamos varias técnicas para descrever, sumarizar e compreender os dados obtidos durante a utilização do programa pelos usuários.

Foram analisadas as onze reações, levando em conta os dados de utilização de todos os usuários até a vigésima tentativa.

Os usuários que não completaram as onze reações foram analisados até a última reação que o mesmo completou.

Os usuários que utilizaram o programa por mais de uma vez, somente os dados da primeira utilização foi levado em consideração para a análise.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção resumem a utilização do programa pelos usuários, observando tabela 2 verificamos que o número total de usuários analisados nas reações da glicólise anaeróbica abaixo é inferior ao que os apresentados na tabela 1, fato este ocorrido pela perda na metodologia, mas vale ressaltar que isso ocorreu porque nas disciplinas aplicadas na UNICAMP os estudantes (usuários) possuíam a possibilidade de utilização do programa em grupo.

Outro fato que veio favorecer o trabalho em grupo em alguns casos foi o número de computadores disponíveis pelas universidades e o tempo para a aplicação/utilização (utilização) do programa e o tempo disponível para tal conteúdo

Após essas informações iniciais a tabela 2 apresenta um resumo geral da situação dos usuários que utilizaram o programa até a vigésima tentativa por reação. Alguns destes dados são mostrados em formas de figuras.

Na figura 6 são mostrados os maiores percentuais de desistência. Na primeira reação o percentual é de 7,2 e na sexta 7,7.

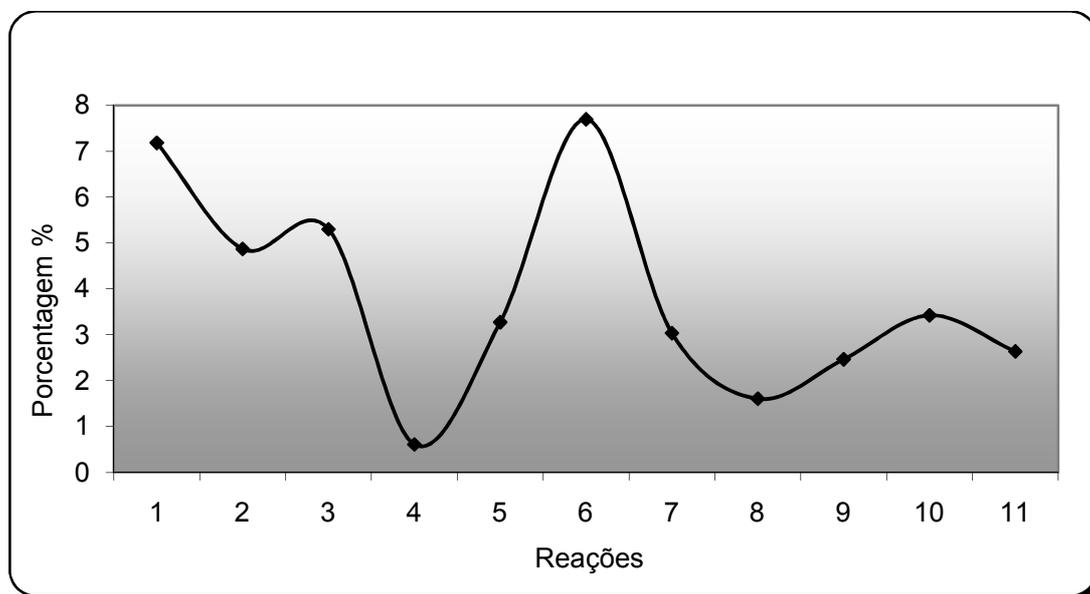


Figura 6: Percentual de desistência durante as onze reações da glicólise anaeróbica

Na primeira reação um dos que levaram os estudantes a desistir foi o maior número de possibilidades (duas mil cento oitenta quatro, anexo 14) em relação às demais reações. Outro motivo ocasionou esta desistência foi a complexidade de informações exigidas para a resolução deste problema, sendo que nesta reação era necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos.

Conceitos estes como o do ΔG° que esclarece a respeito da quantidade de energia livre de uma reação, sendo o ΔG° negativo a reação ocorreria espontaneamente e no sentido que está escrita, caso ele dê um valor positivo a reação ocorrerá no sentido contrário que foi escrita. Para que a reação com ΔG° positivo ocorra no sentido em que foi escrita será necessário acoplar um novo substrato que tenha um ΔG° negativo de valor absoluto maior que o anterior e a soma dos dois ΔG° de um valor negativo. Ainda que se o usuário tivesse um pouco mais de atenção poderia ter recorrido à pista em que se depararia com as seguintes informações:

*“A reação de fosforilação da **glicose** e da frutose 6 fosfato a partir de P_i possui um ΔG° positivo”.*

A alternativa adequada nesse caso seria uma reação acoplada que liberasse energia.

A maior parte das reações do corpo humano que necessitam de energia para ocorrer se utiliza da molécula de ATP. Sabendo-se que nesta reação utilizar-se-ia da molécula de ATP outra pista já os remeteria a qual enzima provavelmente seria utilizada. Bastava para isso observar às pistas das enzimas neste caso a pista da quinase.

“Quinases: São enzimas que catalisam a transferência de um grupamento fosforil de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula aceptor”.

Nesta pista temos como deduzir qual seria o sobrenome das enzimas envolvidas nessa reação, bastando agora definir o nome da enzima por completo. Outra pista os remeteria a esta informação onde a descrição da mesma possuía a seguinte:

“O nome da enzima está relacionado à reação específica que a mesma catalisa muitas vezes é nome do substrato ou do produto da reação”.

De posse destas informações o usuário possuía todas as possibilidades de concluir esta primeira reação. Mas caso o mesmo não conseguisse utilizar destas relações sua chance de acerto seria reduzida. Além das habilidades cognitivas estimuladas pela resolução dos desafios a

concentração também era exigida. Alguns primeiramente optaram apenas pela sorte no acerto da tentativa e erro. No decorrer do processo viram que esse caminho seria muito longo pelo número grande de possibilidades e começaram a acessar melhor os recursos do programa.

Na sexta reação também houve um grande número de desistência apesar do número de possibilidades (novecentos e sessenta) serem menores que nas reações anteriores. Esta desistência pode ter sido ocasionada pela complexidade da reação e também pelo fato desta reação utilizar-se de três substratos e uma enzima.

Tabela 2: Resumo geral da situação dos usuários até a vigésima tentativa por reação

Reações	Total (1)	Desistiram (2)		Sobraram (3)		Total de Perdas (4)	
		N	%	N	%	N	%
1	195	14	7,2	41	21,0	55	28,2
2	185	9	4,9	8	4,3	17	9,2
3	170	9	5,3	6	3,5	15	8,8
4	166	1	0,6	1	0,6	2	1,2
5	153	5	3,3	3	2,0	8	5,2
6	143	11	7,7	21	14,7	32	22,4
7	132	4	3,0	2	1,5	6	4,5
8	125	2	1,6	1	0,8	3	2,4
9	122	3	2,5	3	2,5	6	4,9
10	117	4	3,4	1	0,9	5	4,3
11	114	3	2,6	2	1,8	5	4,4

1) Total de estudantes que iniciou a respectiva reação.

2) Número de estudantes que desistiram na respectiva reação até a vigésima tentativa.

3) Número de estudantes que não conseguiram acertar a respectiva reação até a vigésima tentativa.

4) Soma dos desistentes com os que restaram.

Na tabela 2 outro fato que podemos observar com relação à utilização do programa é a quantidade de usuários que mesmo após vinte (20) tentativas não conseguiram chegar à solução do problema. Este fato pode ser observado na primeira e na sexta reação, talvez pela complexidade das extrapolações e correlações com conceitos anteriores exigidos para a solução destes dois problemas. Na primeira reação observa-se que o grande número de possibilidades foi um complicador e talvez pelo fato dos usuários não se atentarem as pistas. Na sexta reação a questão dos usuários possuírem um maior número de substrato dificultou escolha (*quatro: o substrato Gliceraldeído 3 fosfato, coenzima NAD⁺, Fosfato inorgânico e a enzima Gliceraldeído 3 fosfato desidrogenase*).

Na figura 7 a perda nada mais é do que a quantidade de usuários que não conseguiram completar a reação até a vigésima tentativa. Podemos observar as que na primeira reação (28,1%) dos usuários não conseguiram acertar a combinação adequada e a sexta reação (22,4%) também não completaram a reação até a vigésima tentativa. Estes dados mostram a dificuldade dos usuários na solução destas reações. Na reação segunda temos um percentual de 9,2% de (17) usuários que não conseguiram completar a reação. Na terceira reação o percentual cai para 8,8% com um total de quinze estudantes não completando a reação. O decréscimo do percentual de perda que ocorre ao longo das onze reações pode estar relacionado ao fato dos usuários aprimorarem a forma de utilização do programa e também ao número de possibilidades diminuindo ao longo das reações.

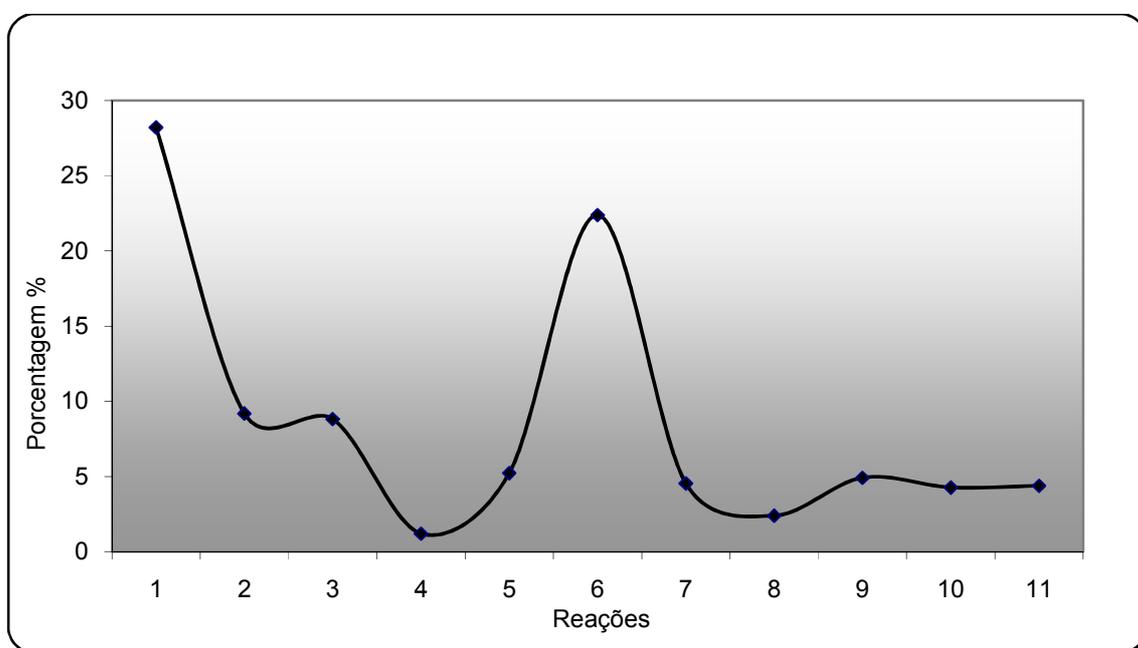


Figura 7: Percentual de perdas em relação ao número de usuários que iniciaram o programa durante as onze reações.

Abaixo analisaremos cada reação e quais foram os principais erros apresentados pelos usuários. Ao todo foram onze reações e cinco fatores que relativizaram a análise: tipo de *substrato*, *coenzimas*, *enzima*, *próton* e *o fosfato inorgânico*, sabendo-se que durante as reações nem sempre foi necessária a utilização de todos estes fatores, tendo em mente que analisamos estes parâmetros até a vigésima tentativa de cada reação.

6.1 Primeira reação da Glicólise Anaeróbica

A primeira reação da glicólise anaeróbica envolve a transferência de um grupamento fosfato do ATP para a glicose, formando glicose-6-fosfato (G6P), em uma reação catalisada pela enzima Hexoquinase (Voet, Voet *et al.*, 2000), sendo esta reação irreversível (Leningher, Nelson *et al.*, 1995). Nesta reação foi avaliado um total de cento e noventa e cinco (195) usuários diretos dos diversos cursos dos quais quatorze (14) desistiram de terminar o programa e quarenta e um (41) não conseguiram completar a reação até a vigésima tentativa. Alguns fatores podem ter levado a este elevado número de desistência como a complexidade para resolução do problema, dentre os quais podemos citar a não utilização da enzima, coenzima correta e até mesmo a utilização de um substrato diferente da glicose. Quanto ao número de usuários que não conseguiram completar até a vigésima tentativa outro fator que pode ter ocasionado esse episódio foi o grande número de possibilidades, fato este que pode ter dificultado o acerto da reação.

Na figura 8 podemos observar que o principal erro com oitenta e sete por cento (87%) na primeira tentativa da primeira reação foi a não utilização da coenzima correta Adenosina Tri Fosfato (ATP).

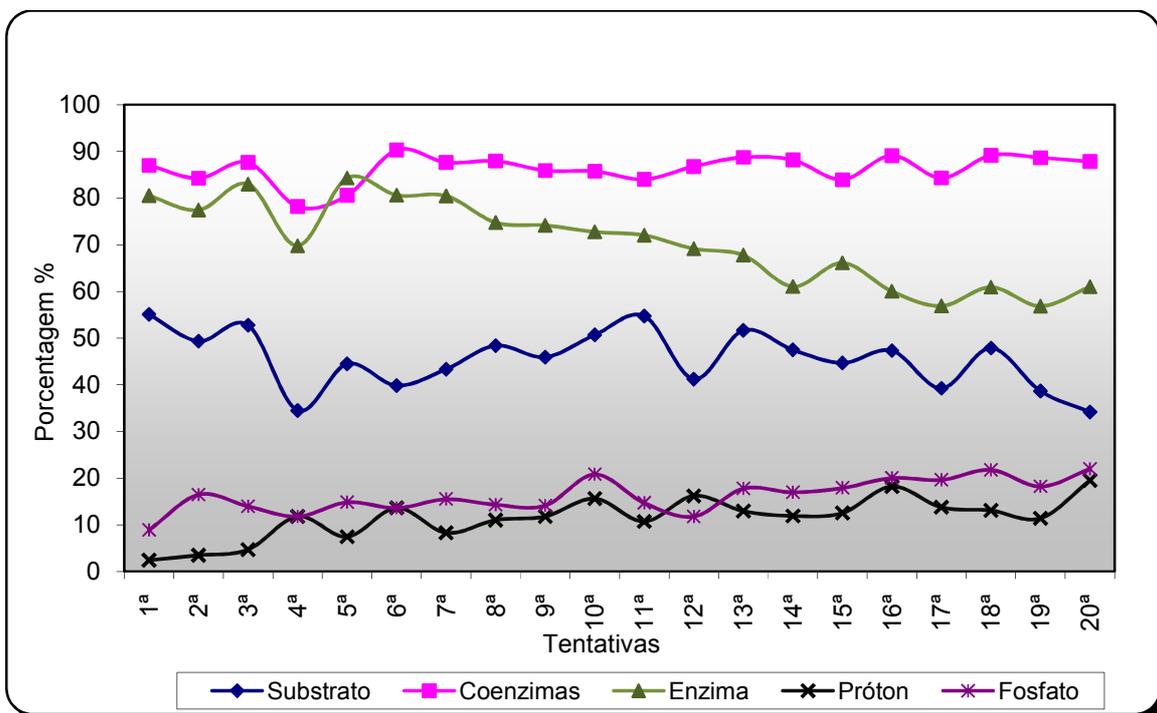


Figura 8: Erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da primeira reação da glicólise anaeróbica.

Esse fato se repete mesmo com o passar das tentativas mantendo-se por volta de 80% mesmo com a diminuição do número de usuários, como mostra a figura 9. A não utilização da enzima correta também é um fator a ser considerado nesta reação. No início da utilização temos um total de 80% dos erros decorrente da utilização de uma enzima diferente, mas com o passar das tentativas estes valores se alteram diminuindo este percentual de erro para 70%.

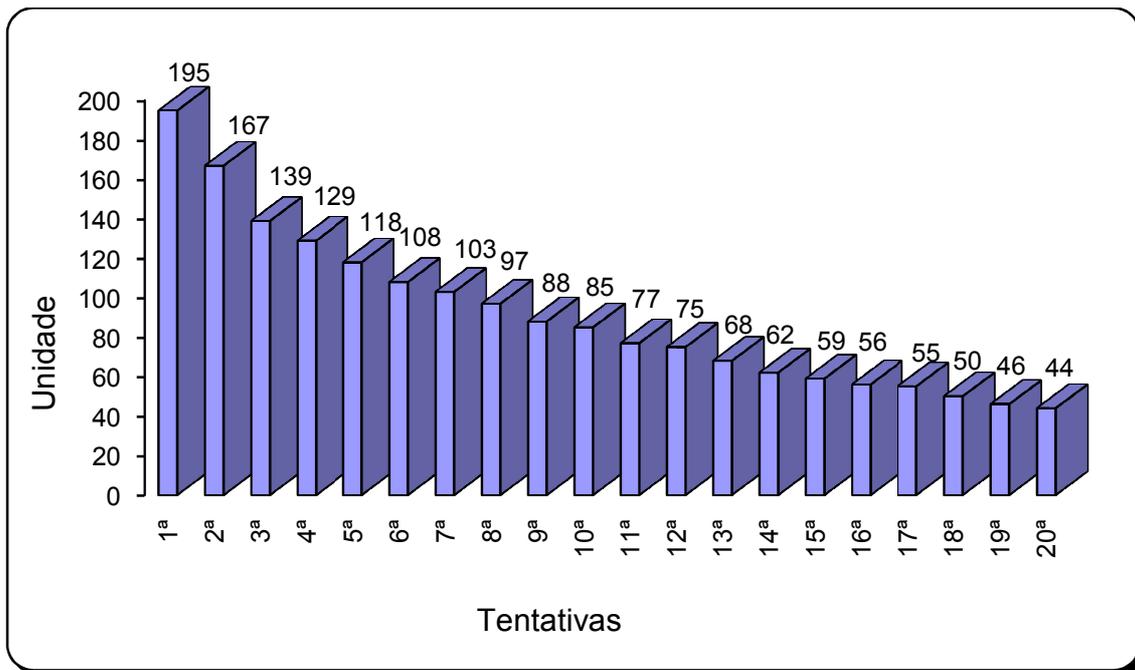


Figura 9: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da primeira reação.

Ao longo da utilização do programa o mesmo armazenava não somente os cinco fatores isoladamente durante as tentativas dos usuários, mas também a seqüência dos elementos que os usuários achavam serem necessários para que a reação ocorra. Dados estes mostrados na tabela 3 em que se analisam a seqüência dos dez maiores erros apresentados pelos usuários. Utilizando a seguinte seqüência *substrato, coenzimas, enzima, próton e o fosfato inorgânico*.

Tabela 3: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a primeira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	%Erro
Glicose	ATP	Hexoquinase	S/I	S/I	Correta
Glicose	S/I	Hexoquinase	S/I	S/I	7,9%
Glicose	S/I	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	6,0%
Glicose	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	2,7%
Glicose	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	2,4%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Hexoquinase	S/I	S/I	2,4%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	2,4%
Glicose	S/I	Aldolase	S/I	S/I	2,3%
Glicose	S/I	Hexoquinase	S/I	Fosfato	2,1%
Glicose	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	1,8%
Glicose	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	1,7%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 68,2%.

A tabela 3 nos remete a uma análise do contexto geral da forma de utilização dos substratos, coenzimas e enzimas possíveis para a primeira reação. Como principal tipo de erro observou-se a falta da coenzima (7,9%), sendo que o substrato e a enzima estavam corretos. A segunda seqüência observou a não utilização da coenzima e a substituição da enzima hexoquinase pela enzima “Glicose fosfato isomerase” esta substituição pode ter ocorrido pela proximidade do nome da enzima com o nome do substrato glicose. Outro detalhe também mostrado na tabela 3 é a falta da coenzima nestas dez principais seqüências de combinações utilizadas na tentativa de resolução deste problema.

6.2 Segunda reação da Glicólise Anaeróbica

A segunda reação da glicólise anaeróbica apresenta uma reação de isomerização, ocorrendo através da conversão de G6P em frutose-6-fosfato (F6P) (Voet, Voet *et al.*, 2000) pela ação da enzima Glicose fosfato isomerase transformando uma aldose G6P em uma Cetose F6P (Leningher, Nelson *et al.*, 1995). A animação apresentada pelo programa possibilita o usuário observar esta mudança conformacional do substrato de glicose seis fosfato para frutose seis fosfato, para a solução do problema os usuários deveriam utilizar o seguinte substrato G6P e a enzima glicose fosfato isomerase.

Nesta reação a solução do problema se torna relativamente facilitada pela seguinte informação:

“O nome da enzima está relacionada à reação específica que a mesma catalisa muitas vezes é nome do substrato ou do produto da reação”.

Esta pista possibilitaria a solução, pois o nome da enzima (Glicose Fosfato Isomerase) está relacionado ao nome do substrato (Glicose Seis Fosfato) da reação.

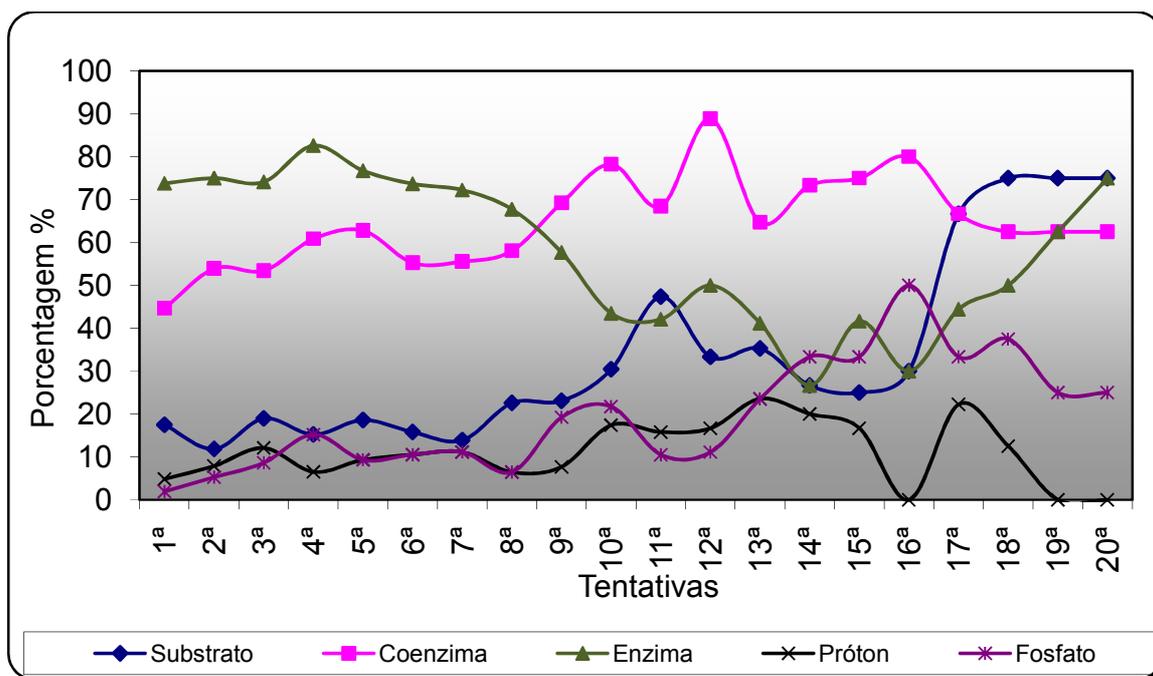


Figura 10: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da segunda reação da glicólise anaeróbica.

Observando a figura 10 podemos analisar que a não utilização da enzima correta foi o motivo do erro predominante na primeira tentativa totalizando 73,8 % dos usuários. Esta predominância se perpetua até a oitava tentativa, onde podemos perceber que a utilização da coenzima que passa a predominar, chegando a 90%. Nesta reação não era necessário a presença da coenzima, o motivo que pode ter ocasionado este erro foi a necessidade de se utilizar a coenzima na reação anterior.

Na segunda reação da glicólise, a quantidade de acerto na primeira tentativa 48% dos usuários, foi um fator interessante apresentado na figura 11.

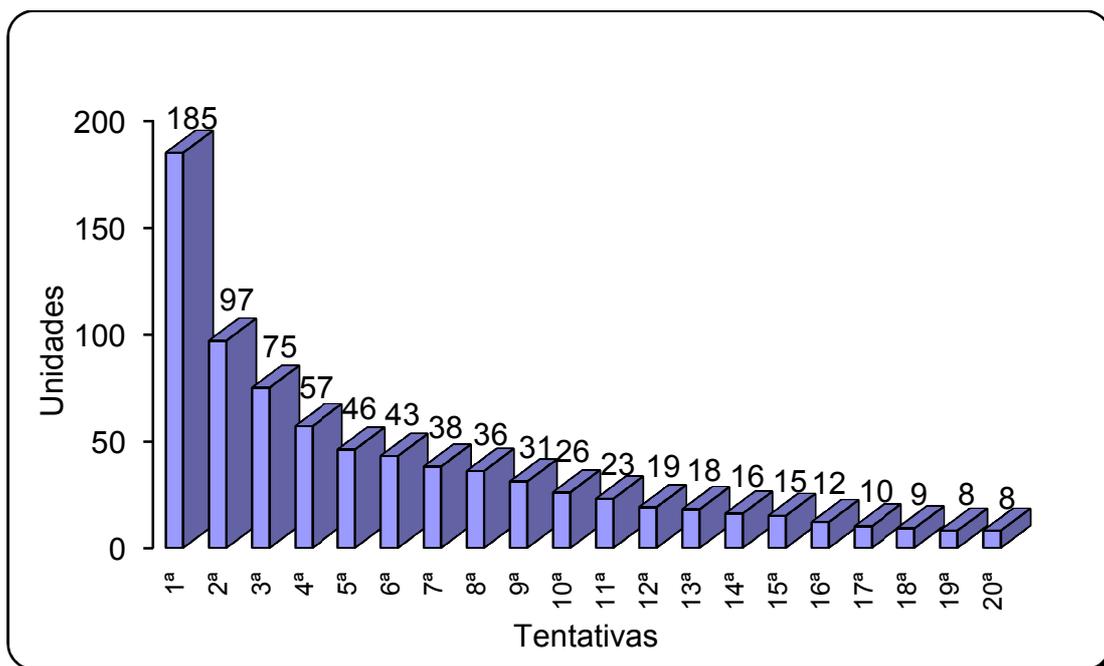


Figura 11: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da segunda reação.

Este grande percentual de acerto provavelmente se deve a pista que possibilita a resolução do problema apresentado nesta reação. O fator relevante aqui foi à intimidade dos usuários com a utilização da pista que possibilitou um incentivo ao acerto. Também se observa uma melhor interação do usuário à proposta de enfrentamento do desafio e conseqüente resolução do problema.

A tabela 4 possibilita a leitura da utilização do programa durante a segunda reação. As dez seqüências mais erradas utilizadas têm com principal fator (5,7 %) o uso da coenzima ATP. Outro ponto importante nesta reação é que em todas as seqüências os usuários utilizaram o substrato correto. Concluindo que para o entendimento desta reação somente caberia ressaltar a função da enzima para a resolução deste problema.

Tabela 4: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a segunda reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Glicose 6-Fosfato	S/I	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	Correta
Glicose 6-Fosfato	ATP	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	5,7%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	4,0%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	3,5%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	3,3%
Glicose 6-Fosfato	ATP	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	3,2%
Glicose 6-Fosfato	ADP	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,2%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,0%
Glicose 6-Fosfato	ATP	Hexoquinase	S/I	S/I	2,3%
Glicose 6-Fosfato	ATP	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	2,3%
Glicose 6-Fosfato	S/I	Aldolase	S/I	S/I	2,2%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 67,4%.

6.3 Terceira reação da Glicólise Anaeróbica

Na terceira reação da glicólise a enzima fosfofrutoquinase I fosforila a F6P para formar frutose-1,6-bisfosfato (F1,6P) pela adição de um grupo fosfato provindo do ATP (Leningher, Nelson *et al.*, 1995) sendo esta reação também irreversível. Esta reação apresenta as mesmas características da primeira devido ao seu substrato “*Frutose seis Fosfato*”, estar na mesma pista em que a glicose.

“A reação de fosforilação da glicose e da **frutose 6 fosfato** a partir de Pi possui um ΔG° positivo”

De posse desta informação, e utilizado as correlações dos conceitos anteriormente requisitados na primeira reação, a conclusão deste problema seria de fácil solução. Para que esta reação ocorra eram necessários os seguintes substratos coenzima e enzima “*Frutose seis Fosfato, ATP e a enzima Fosfofrutoquinase P*”. Com estes três compostos a reação ocorreria mostrando a mudança na molécula e assim possibilitando o estudante seguir adiante.

Nesta reação os principais erros apresentados pelos usuários, mostrados na figura 12, foi a não utilização da coenzima correta que permaneceu constante (média de 87%) mesmo com a diminuição do número de usuários ao longo das vinte tentativas. Este fato pode ter ocorrido pois os usuários não conseguiram associar a pista em que consta a seguinte definição da enzima e o sobrenome da enzima.

“**Quinases:** São enzimas que catalisam a transferência de um grupamento fosfato de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula aceptora”.

Outro fator que se manteve constante com uma média de 55,1% foi a não utilização da enzima correta. Quando o estudante não consegue compreender a relação entre o ΔG° e o sentido em que a reação ocorrerá, a falta desta informação acaba por não proporcionar recurso para que o estudante consiga utilizar a enzima correta.

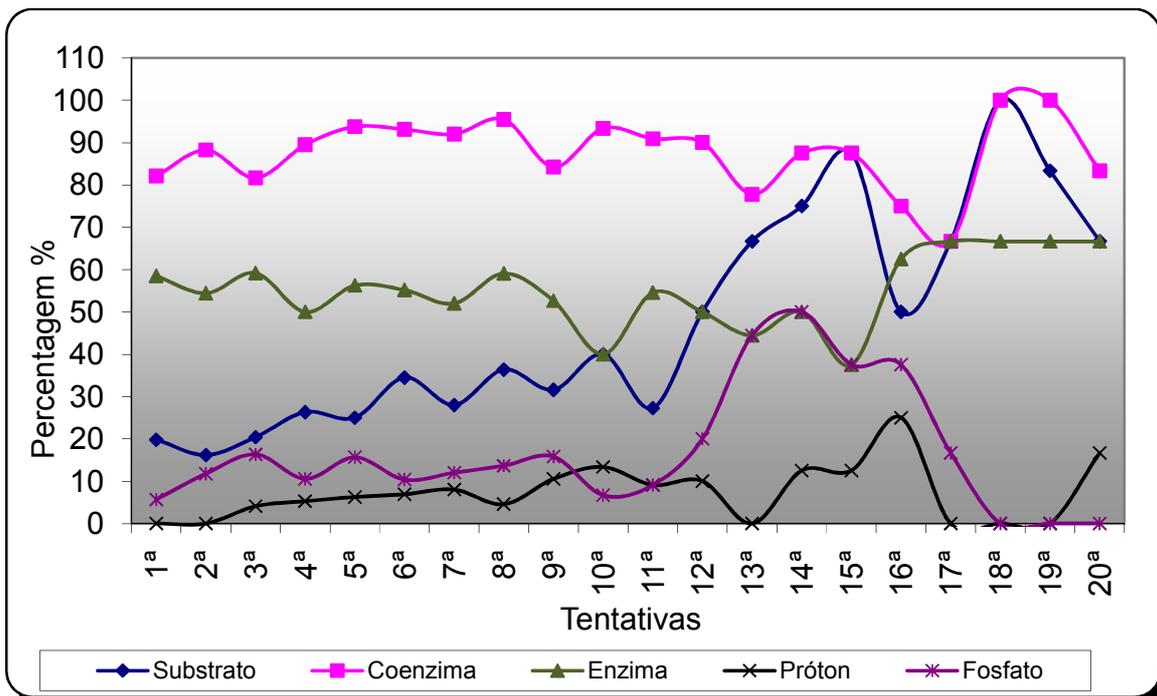


Figura 12: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da terceira reação da glicólise anaeróbica.

Na figura 13 podemos observar que na primeira tentativa 39% dos usuários acertaram a reação, na décima tentativa mais de 90 % dos usuários já completaram a reação.

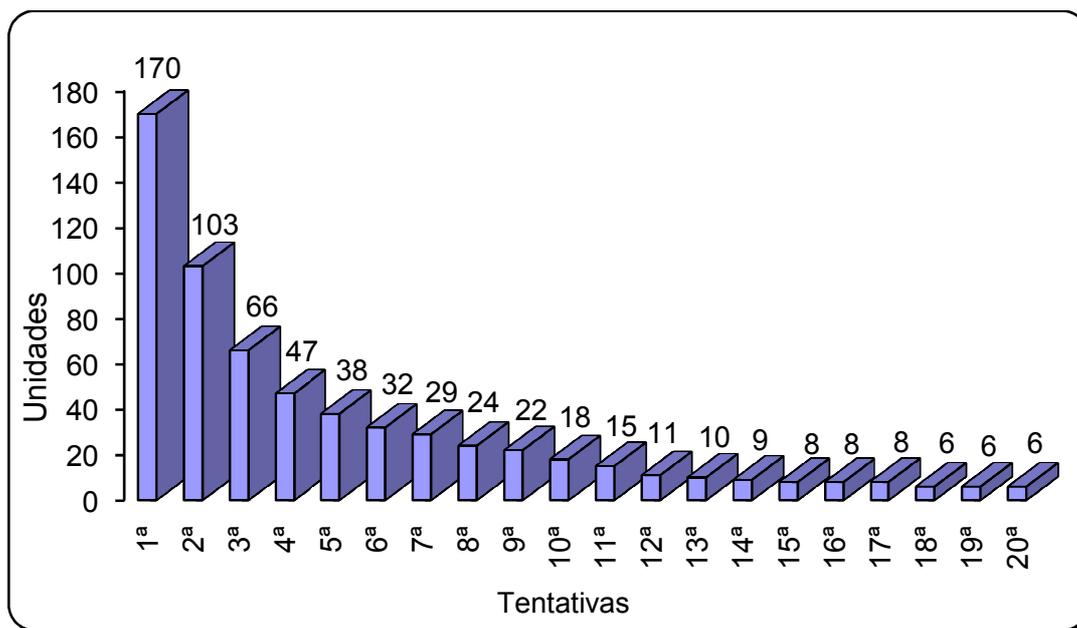


Figura 13: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da terceira reação.

Para tentar solucionar esta reação os usuários utilizaram de várias possibilidades. Dentre elas as mais utilizadas foram descritas na tabela 5 em que o principal erro foi a não utilização da coenzima ATP. A primeira seqüência Frutose-6-fosfato, S/I, Fosfofrutoquinase, S/I, S/I foi responsável por 18,2% dos erros cometidos nesta reação. Esta seqüência estaria correta se o usuário utiliza-se da coenzima ATP. Sendo então necessária uma ênfase no ensino do conceito de ΔG° e nas funções das enzimas que possuem o sobrenome quinase, pois essas duas informações são de extrema importância para o entendimento das reações.

Tabela 5: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a terceira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Frutose 6-fosfato	ATP	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	Correta
Frutose 6-fosfato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	18,2%
Frutose 6-fosfato	S/I	Aldolase	S/I	S/I	3,8%
Frutose 6-fosfato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,4%
Frutose 6-fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	3,4%
Frutose 6-fosfato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	3,4%
Frutose 6-fosfato	ATP	Hexoquinase	S/I	S/I	3,1%
Frutose 6-fosfato	ADP	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	2,9%
Frutose 6-fosfato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	Fosfato	2,7%
Frutose 6-fosfato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	2,7%
Frutose 6-fosfato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	2,3%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 54,1%.

6.4 Quarta reação da Glicólise Anaeróbica

A quarta reação da glicólise anaeróbica se inicia com a utilização do substrato **F1,6P** provindo da reação anterior sendo clivado em Gliceraldeído-3-fosfato (GAP) e Diidroxiacetona-fosfato (DHAP) (Leningher, Nelson *et al.*, 1995; Voet, Voet *et al.*, 2000). A enzima utilizada nesta reação é a **Aldolase** e a pista que auxiliaria nesta reação está descrita abaixo:

“A molécula de Frutose 1, 6 bi-fosfato (6 carbonos) é quebrada ao meio, formando dois compostos de 3 carbonos, que podem ser isomerizados. Somente um deles participa do restante da via”.

Esta pista remeteria a quebra da F1,6P em duas moléculas. Sabendo-se disso era necessária achar qual enzima faria este processo de quebra. Nas pistas referentes às enzimas a Aldolase apresentava a seguinte descrição:

“Aldolase: São enzimas que cindem açúcares fosforilados, dando origem a diidroxiacetona-fosfato e a outro açúcar, com três átomos de carbono a menos que o substrato original”.

Observando a figura 14 o principal erro apresentado nesta reação foi a não utilização da enzima correta (96,4%). Este erro pode ter sido ocasionado pela interpretação incorreta da pista citada anteriormente. Mesmo com a diminuição do número de usuários devido ao acerto ao longo das tentativas o erro da não utilização da enzima persiste superior aos demais.

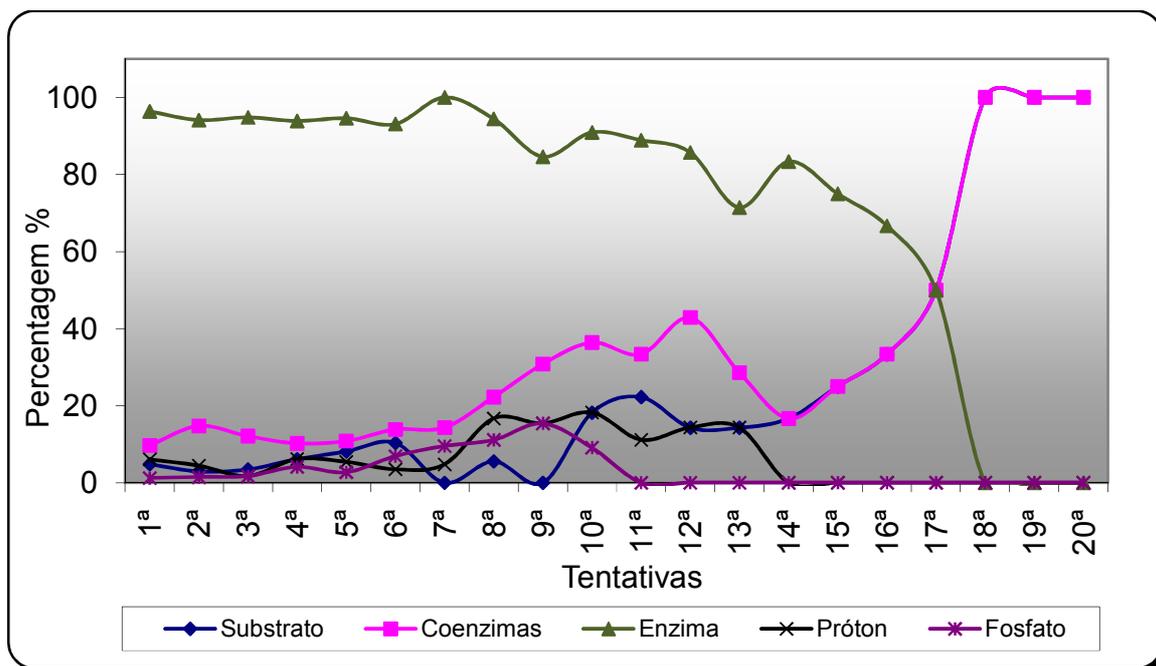


Figura 14: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da quarta reação da glicólise anaeróbica.

A figura 15 nos apresenta que na primeira tentativa 50% dos usuários acertaram a reação e na nona tentativa temos 92 % dos usuários completando a reação. Provavelmente esta grande porcentagem de acerto na primeira tentativa se deu pela associação de alguns fatores. O usuário nesta quarta reação já passou por situações em reações anteriores que o estimularam a estabelecer relação entre os conceitos. A familiaridade com o uso dos recursos do programa pode ter possibilitado este acerto também como o uso da pista. Outro fator ainda pode ter favorecido este percentual foi a escolha de apenas um substrato tornando mais simples a resolução do problema.

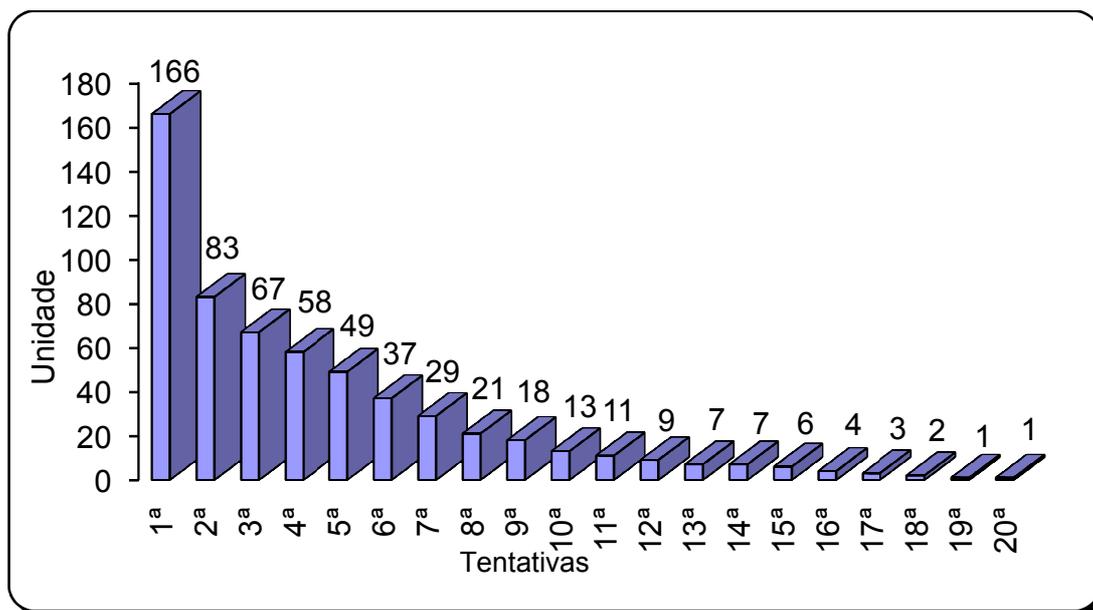


Figura 15: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da quarta reação.

A tabela 6 possibilita deduzir que mesmo com o grande número de acerto na primeira tentativa os demais usuários que não a fizeram na primeira estavam utilizando o substrato correto. Entretanto a enzima errada dentre as enzimas mais utilizadas temos a “*Triose fosfato isomerase*”. A utilização da triose pode ter sido ocasionada pelo fato de não se possuir mais substratos com seis carbonos. Assim a divisão da molécula anterior em duas de três carbonos poderia ocasionar a associação e ter levado ao erro.

A falta de atenção na leitura das pistas também pode ter possibilitado o restante dos erros dos demais usuários, pois a pista da enzima correta possibilitaria a solução deste problema.

Tabela 6: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a quarta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Aldolase	S/I	S/I	Correta
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	12,3%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	10,7%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	10,0%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	9,2%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	7,8%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	6,6%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Enolase	S/I	S/I	6,2%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	5,5%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	4,3%
Frutose 1,6-bis fosfato	S/I	Hexoquinase	S/I	S/I	3,8%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 23,7%.

6.5 Quinta reação da Glicólise Anaeróbica

Somente um dos produtos da reação de clivagem aldólica, o GAP, continua a via glicolítica (Leningher, Nelson *et al.*, 1995; Voet, Voet *et al.*, 2000). A quinta reação da glicólise se processa através da transformação do substrato DHAP em GAP. A enzima responsável pela rápida conversão é triose fosfato isomerase e esta é sensível a variação da concentração da DHAP. Com o aumento da atividade da via glicolítica ocorre o aumento da formação DHAP e concomitantemente o aumento da formação de GAP.

Nesta etapa do programa o usuário poderia encontrar informações nas pistas, que o auxiliariam na resolução desta reação.

“Somente uma dos produtos formados na reação de quebra do F1,6P continua a via”

Observando a figura 16 podemos notar que 90% dos erros apresentados nesta reação são ocasionados pela não utilização da enzima correta e isso perduraram até a décima terceira tentativa.

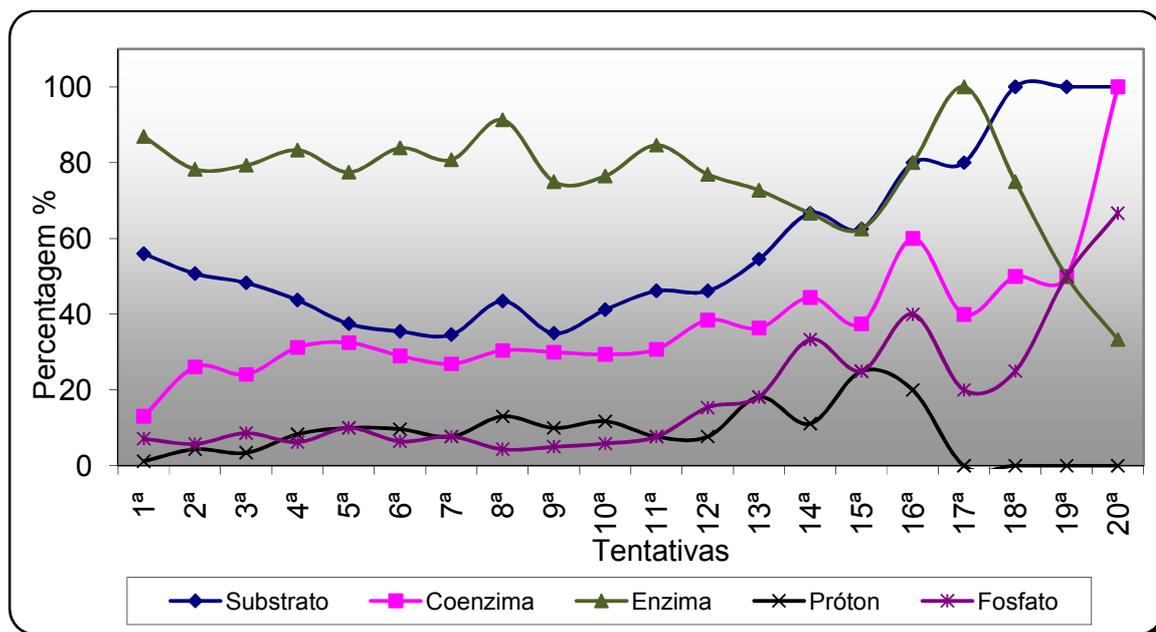


Figura 16: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da quinta reação da glicólise anaeróbica.

Apesar dos dois principais motivos de erros serem a enzima e o substrato pode-se notar na figura 17 que em sete tentativas temos um percentual de 80% dos usuários acertando a reação, mostrando o alto índice de acerto.

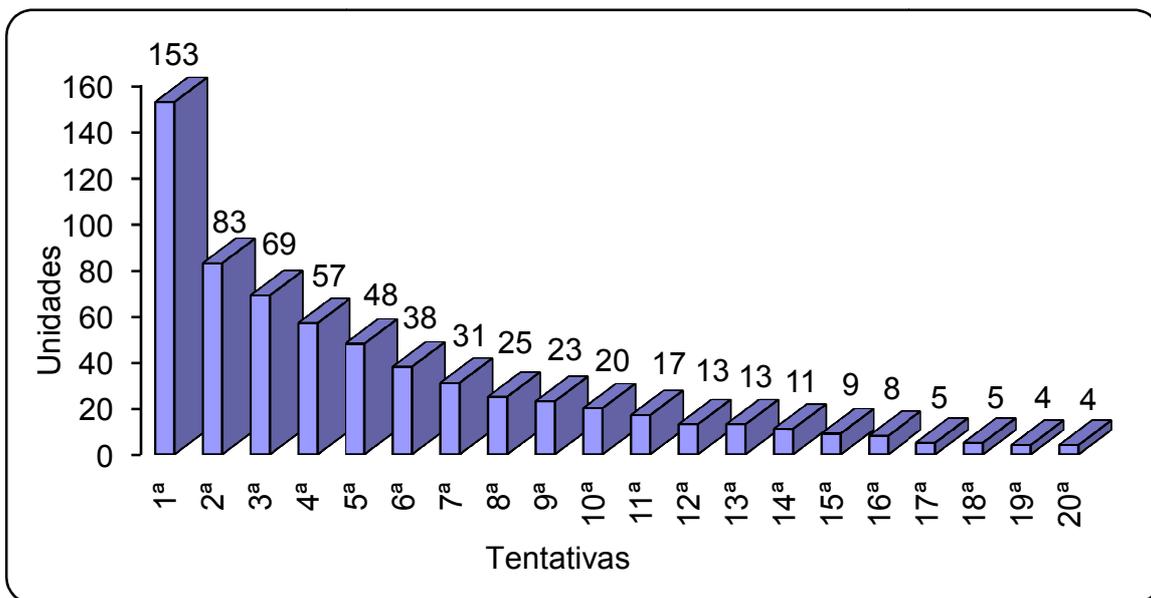


Figura 17: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da quinta reação.

A tabela 7 apresenta os resultados referentes aos principais tipos de erros, sendo que as duas maiores seqüências de erros “Diidroxiacetona-fosfato, S/I, Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase, S/I, S/I” e “Gliceraldeído 3-fosfato, S/I, Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase, S/I, S/I” nos remetem a associação dos usuários do nome da enzima com a reação. Neste ponto a indecisão de qual o substrato que continua a via, influenciou diretamente no erro. Outro ponto foi à associação do nome do substrato GAP com a enzima.

Tabela 7: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a quinta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	Correta
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	7,0%
Gliceraldeído 3 Fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	7,0%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Enolase	S/I	S/I	6,3%
Gliceraldeído 3 Fosfato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	5,7%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	5,3%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	3,7%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NAD ⁺	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	3,7%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	3,1%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	2,9%
Diidroxiacetona-fosfato	S/I	Hexoquinase	S/I	S/I	2,7%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 52,8%.

Fica evidente que com os tipos de erros apresentados os estudantes não compreenderam o conceito de especificidade que envolve a atividade das enzimas como notamos na tabela 7. Os usuários que solucionavam esta reação passavam então para a reação de número seis da via glicolítica.

6.6 Sexta reação da Glicólise Anaeróbica

A sexta reação da glicólise é a oxidação e a fosforilação do GAP por nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD^+) e fosfato inorgânico (Pi), catalisados pela Gliceraldeído-3-fosfato-desidrogenase (Voet, Voet *et al.*, 2000) dando origem a 1,3-bisfosfoglicerato (1,3-BPG) um composto de “alta energia”. Nesta reação o usuário ao recorrer às pistas encontraria algumas pistas para a resolução do problema. A primeira saída estaria relacionada à enzima responsável pela transferência dos átomos de hidrogênio através da reação de oxi-redução.

“Desidrogenases: são enzimas que catalisam reações de oxi-redução por transferência de hidrogênio do substrato para uma coenzima, geralmente NAD^+ ou flavina-adenina dinucleotídeo (FAD)”.

A figura 18 apresenta os erros dos usuários na sexta reação, sendo que a não utilização da coenzima correta e do fosfato são os indicadores dos principais erros. Quanto à utilização da coenzima, bastaria o usuário observar a pista referente às funções das enzimas que facilmente associaria a utilização do NAD^+ com o sobrenome da enzima desidrogenase.

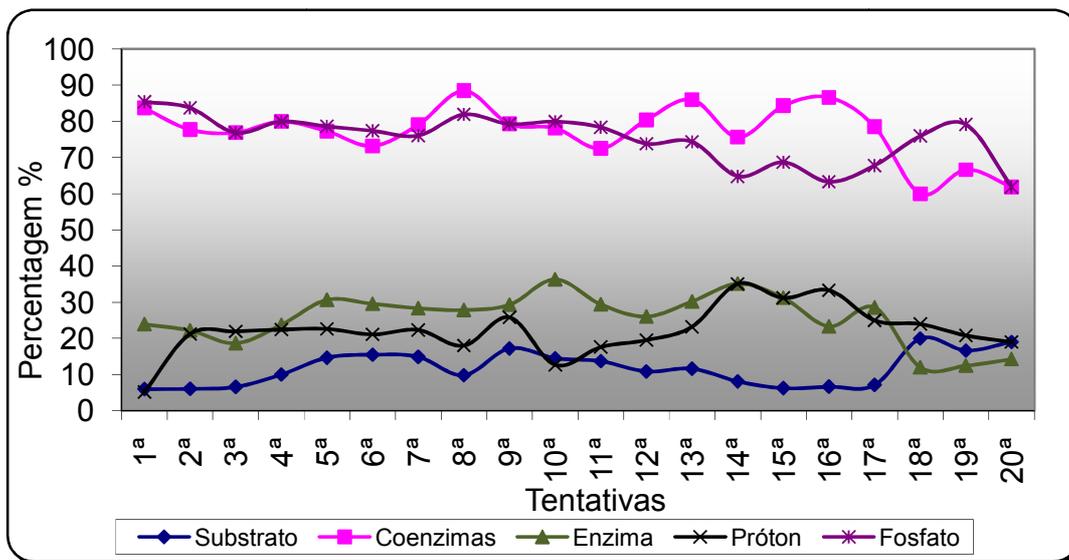


Figura 18: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da sexta reação da glicólise anaeróbica.

A atenção a pista diminuiria este tipo de erro. Juntamente com isso reside a possibilidade do professor poder retomar o conceito de reação de oxi-redução. O fato de ser necessária a presença do fosfato inorgânico para que a reação aconteça dificultou ainda mais as possibilidades de acerto desta reação como podemos observar na figura 19. Portanto houve um grande número de usuários que não conseguiram resolver a reação e mesmo assim continuaram persistindo no mesmo erro.

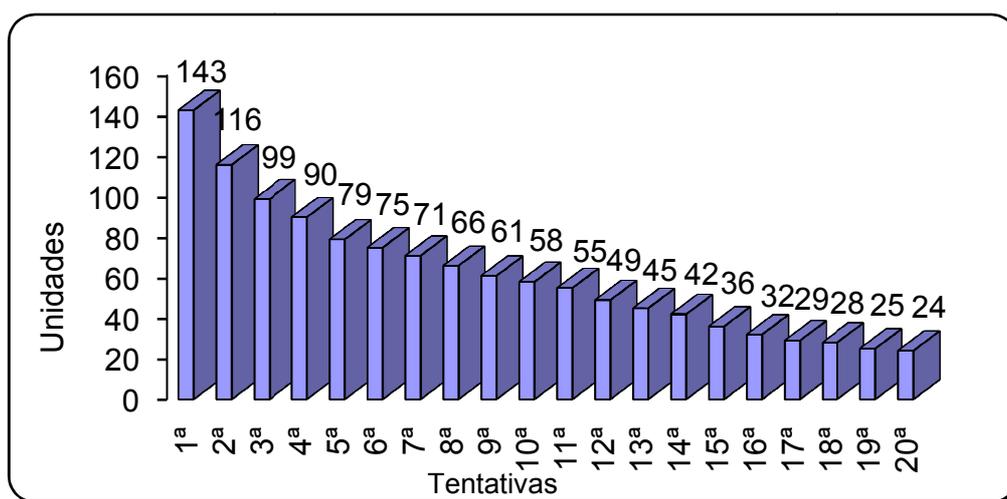


Figura 19 Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da sexta reação.

Na tabela 8 temos como principal erro a falta da coenzima NAD^+ e do fosfato inorgânico. Este fato nos remete a pensar sobre questões relativas às reações químicas em que mais de um substrato se faz necessário. Este pode ser um dos motivos dos quais esta reação apresentou um alto índice de erro em relação às demais.

Pensando que um dos objetivos da via glicolítica é a ressíntese do ATP até esta reação houve somente gasto de energia. Então em algum momento será formado compostos altamente energético como é o caso do 1,3-BPG formado nesta reação. A energia da ligação Cys da ligação da coenzima ao GAP é mantida através da ligação do fosfato inorgânico, dando origem ao 1,3-BPG. Durante esta reação um próton é liberado para o meio. Outro fato interessante que podemos destacar é que esta reação acontece em dobro, assim como as subseqüentes.

Tabela 8: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a sexta reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Gliceraldeído 3 Fosfato	NAD^+	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	Fosfato	Correta
Gliceraldeído 3 Fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	14,2%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NAD^+	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	11,1%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NADH	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	7,9%
Gliceraldeído 3 Fosfato	ADP	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	5,0%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NADH	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	Fosfato	4,2%
Gliceraldeído 3 Fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	Próton	S/I	4,1%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NAD^+	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	Próton	S/I	4,1%
Gliceraldeído 3 Fosfato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	Fosfato	3,8%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NADH	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	Próton	Fosfato	3,2%
Gliceraldeído 3 Fosfato	NADH	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	Próton	S/I	2,5%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 40%.

6.7 Sétima reação da Glicólise Anaeróbica

A sétima reação da via glicolítica produz ATP, juntamente com 3-fosfoglicerato (3PG) em uma reação catalisada pela enzima Fosfoglicerato quinase (Leningher, Nelson *et al.*, 1995; Voet, Voet *et al.*, 2000; Marzzoco e Torres, 2007). Se observarmos a figura 20, percebemos como principal erro a não utilização da coenzima correta, que permanece ao longo das 20 tentativas.

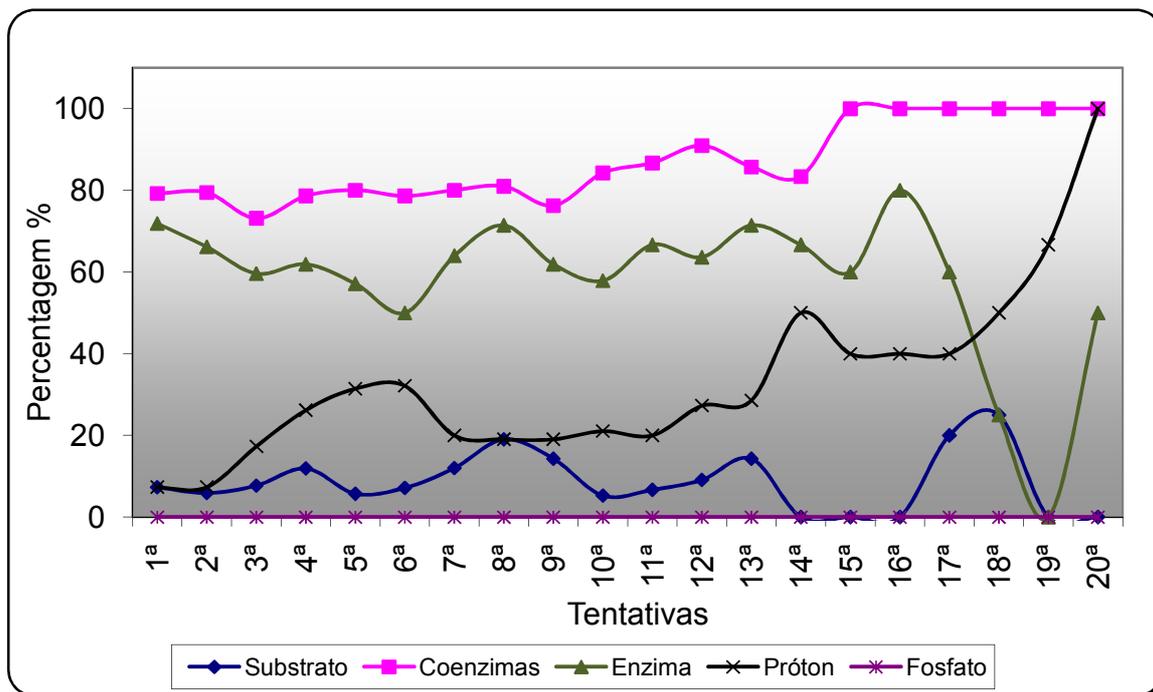


Figura 20: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da sétima reação da glicólise anaeróbica.

O ponto principal nesta reação é a utilização de um composto rico em energia 1,3-BPG como substrato. A partir do momento que os estudantes têm em mente o conceito de compostos ricos em energia, isso já facilitaria muito a resolução desta reação. Nas pistas sobre enzimas o usuário do programa vem a se deparar com esta reação e poderia correlacionar às seguintes informações.

*“**Quinases:** São enzimas que catalisam a transferência de um grupamento fosfato de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula aceptora”.*

“O nome da enzima está relacionada à reação específica que a mesma catalisa muitas vezes é nome do substrato ou do produto da reação”.

Como o sobrenome da enzima está relacionado com o substrato ou o produto, os usuários poderiam ter correlacionado às enzimas Fosfoglicerato quinase ou Fosfoglicerato mutase com o substrato. Sabendo que o substrato é um composto rico em energia (conceito anterior a utilização do programa) a enzima mais provável seria a de sobrenome quinase.

De posse da pista referente às funções das quinase o usuário poderia correlacionar o sobrenome quinase da enzima com a utilização de uma coenzima ATP ou outro composto rico

em energia o ADP. Nesta reação o programa não apresenta a possibilidade de selecionar a ATP ficando assim a possibilidade de relembrar a questão do ADP ser um composto rico em energia por possuir o mesmo ΔG° (-31 KJ/mol) (Marzzoco e Torres, 2007) do ATP. Desta forma minimizaria o erro da não utilização da coenzima correta. A figura 21 apresenta a quantidade de usuários que ao longo das tentativas foram acertando esta reação. Com o passar das tentativas o número de usuários que permanecem nesta reação diminui. Esta diminuição faz com que o outro erro apareça, os usuários passaram a utilizar os prótons (figura 20) que foram produzidos durante a via. A utilização de prótons nem sempre se faz necessária durante a ressíntese de ATP, mas vale lembrar que a premissa inversa é verdadeira, pois toda reação de hidrólise do ATP libera prótons para o meio sendo ele o maior responsável pela queda de pH intracelular durante a atividade física (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004).

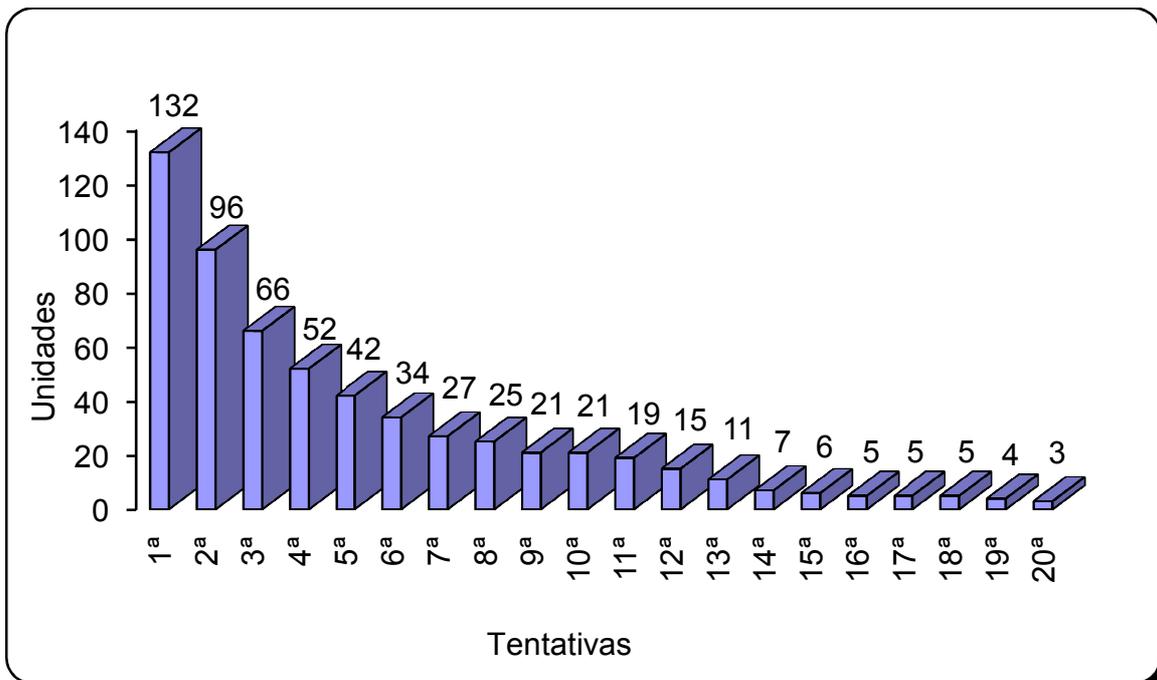


Figura 21: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da sétima reação.

Dentre as principais seqüências de desacertos apresentados na tabela 9 o principal erro vem afirmar a não utilização do ADP com 14,2%. A segunda maior seqüência de erro apresenta uma dupla possibilidade tanto na enzima, quanto na coenzima. Este erro pode ter sido ocasionado pela utilização do nome da enzima fosfoglicerato mutase associado ao nome do substrato 1,3-BPG.

Tabela 9: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a sétima reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
1,3-Bis fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	Correta
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	14,2%
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	11,1%
1,3-Bis fosfoglicerato	NADH	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	7,5%
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	4,5%
1,3-Bis fosfoglicerato	NADH	Fosfoglicerato quinase	Próton	S/I	4,5%
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	4,3%
1,3-Bis fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato quinase	Próton	S/I	4,1%
1,3-Bis fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	4,1%
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Glicose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,2%
1,3-Bis fosfoglicerato	S/I	Enolase	S/I	S/I	3,2%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 39,3%.

Nesta reação temos o fato da quitação da dívida (2 ATP), lembrando que na 1^a e na 3^a reação foi utilizado um (1) ATP em cada reação. O fato da molécula de glicose ser dividida ao meio no decorrer da via glicolítica, mais precisamente na quarta reação, possibilita que nesta neste passo da via tenhamos duas (duas) moléculas de 1,3-BPG.

Estas duas moléculas de 1,3-BPG durante a ação da enzima Fosfoglicerato quinase possibilitando ressintetize duas moléculas de ATP. Sendo então restabelecendo a quantidade de ATP inicial.

6.8 Oitava reação da Glicólise Anaeróbica

A oitava reação da glicólise acontece com a conversão do 3PG em 2-fosfoglicerato (2PG) sendo esta catalisada pela enzima fosfoglicerato mutase (Leningher, Nelson *et al.*, 1995; Voet, Voet *et al.*, 2000; Marzzoco e Torres, 2007). Nesta reação no programa, conforme a figura 22, percebe-se que os usuários que não conseguiram realizar na primeira tentativa (figura 23) apresentaram como principal erro a não utilização da enzima correta. Neste caso os usuários passaram a utilizar-se principalmente das enzimas triose fosfato isomerase e fosfoglicerato quinase (tabela 10). Isso revela que mesmo com o passar das reações a compreensão da especificidade das enzimas não se fez na sua totalidade, pois estas enzimas já foram utilizadas nas reações anteriores e nas pistas existe uma em especial que fala sobre esta especificidade.

“O nome da enzima está relacionado à reação específica que a mesma catalisa muitas vezes é nome do substrato ou do produto da reação”.

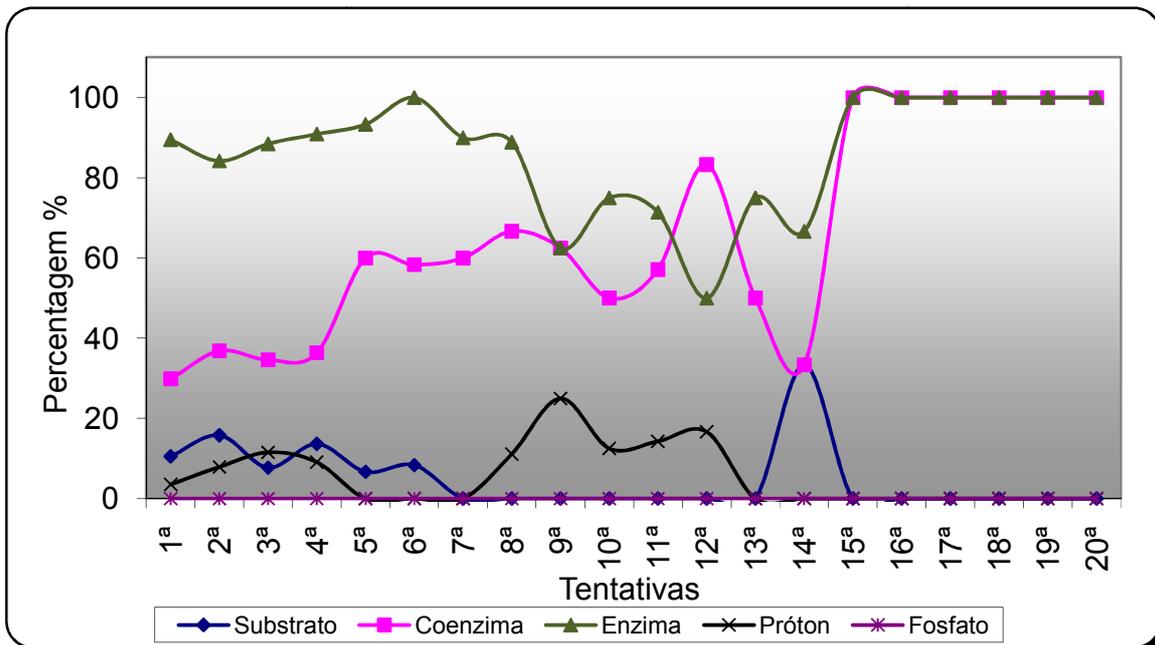


Figura 22: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da oitava reação da glicólise anaeróbica.

Apesar deste tipo de erro acima citado observarmos na figura 23 que mais de 65% dos usuários já acertaram a reação na primeira tentativa. Isso demonstra que partes dos usuários compreenderam que o substrato da próxima reação é o produto da reação anterior reafirmando isso na tabela 10 onde todos os principais erros não envolvem o substrato.

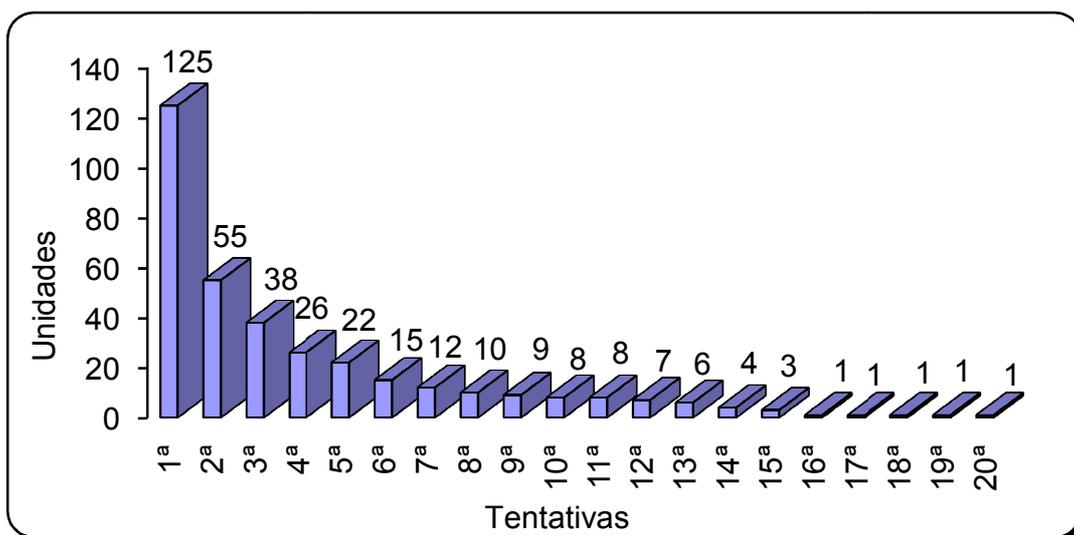


Figura 23: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da oitava reação.

Tabela 10: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a oitava reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
3-Fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	Correta
3-Fosfoglicerato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	13,5%
3-Fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	8,3%
3-Fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	7,8%
3-Fosfoglicerato	S/I	Enolase	S/I	S/I	6,5%
3-Fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato mutase	Próton	S/I	6,5%
3-Fosfoglicerato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	5,2%
3-Fosfoglicerato	S/I	Glicose fosfato isomerase	Próton	S/I	4,8%
3-Fosfoglicerato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	4,3%
3-Fosfoglicerato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	2,6%
3-Fosfoglicerato	ADP	Enolase	S/I	S/I	2,2%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 38,3%.

Outro fato observado nesta reação é a utilização do ADP como coenzima por alguns usuários. Podemos concluir que 8,3% se utilizaram deste erro, neste caso um duplo erro pelo fato de empregarem uma enzima já utilizada a fosfoglicerato quinase.

Noventa e nove por cento dos usuários que iniciaram esta reação conseguiram completá-la até a 20ª tentativa.

6.9 Nona reação da Glicólise Anaeróbica

A nona reação da glicólise gera o segundo produto rico em energia da via metabólica (Leningher, Nelson *et al.*, 1995), o 2PG é desidratado a fosfoenolpiruvato (PEP) em uma reação catalisada pela enzima Enolase (Voet, Voet *et al.*, 2000). A saída da molécula de água provoca um rearranjo da quantidade de energia interna da molécula provindo assim o PEP de grande quantidade de energia ΔG° (-61,9 KJ/mol) (Leningher, Nelson *et al.*, 1995).

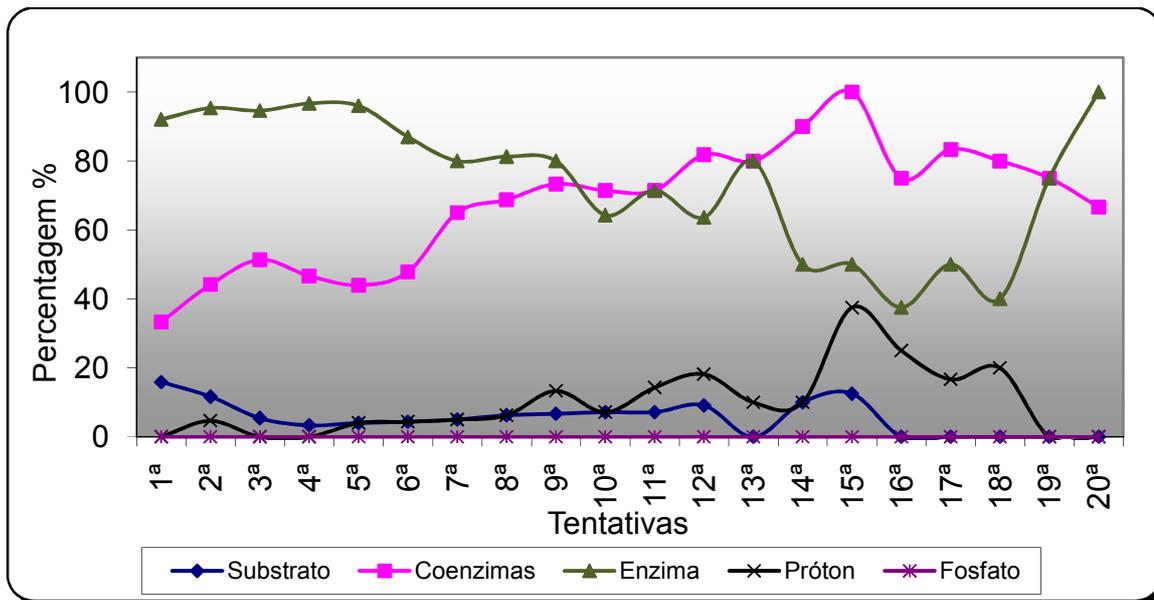


Figura 24: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da nona reação da glicólise anaeróbica.

Durante a utilização do programa na nona reação da glicólise a quantidade de erros apresentada pelos usuários (figura 24) tem como principal causa a não utilização da enzima correta como observado até a sexta tentativa. Isso pode ter acontecido pela não compreensão da especificidade da enzima. Na tabela 11 podemos observar que dentre as enzimas utilizadas algumas delas (Fosfofrutoquinase, Triose fosfato isomerase, Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase, Fosfoglicerato quinase, Fosfoglicerato mutase) já fizeram parte de reações anteriores. Apesar deste erro a figura 25 demonstra que (50%) dos usuários acertaram esta reação na primeira tentativa.

Para resolução desta reação o programa apresenta uma pista referente à enzima Enolase conforme demonstrado abaixo.

“Enolase: Enzima que promove a remoção reversível de uma molécula de água” (Lehninger, Nelson et al., 2002).

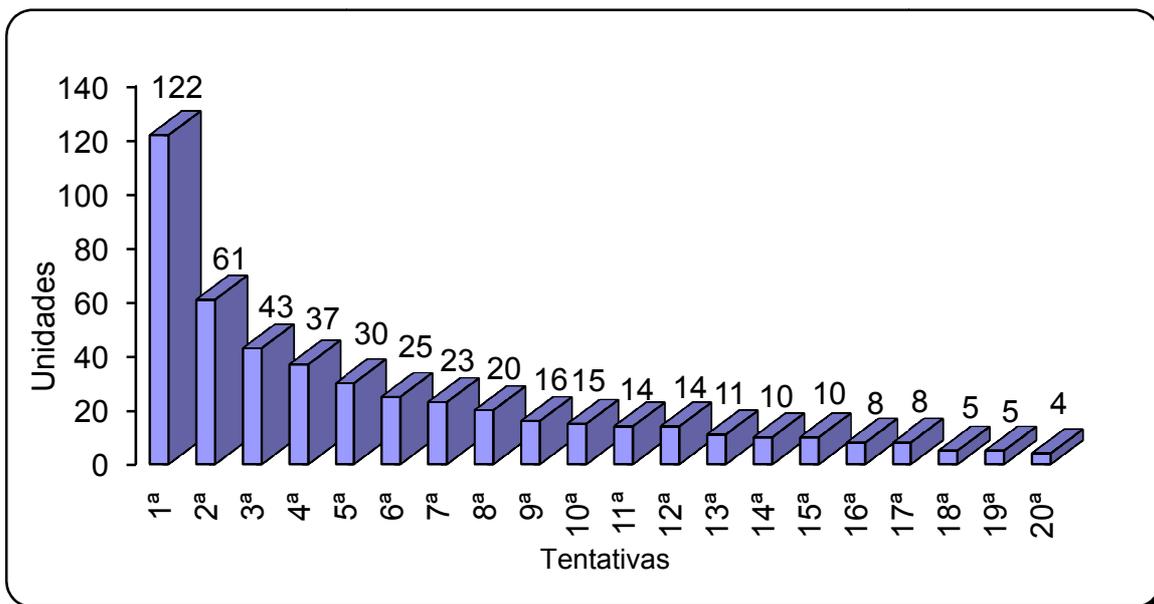


Figura 25: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da nona reação.

Outro fator que poderia contribuir para a solução do problema apresentado pelos usuários foi à diminuição de opções de substratos a serem arrastados para a tela principal do programa sendo que a maioria dos usuários acertaram o substrato 2PG. Analisando por esta ótica o usuário possuiria três opções de substrato (Fosfoenlpiruvato, Piruvato e Lactato) para a próxima reação (10ª reação) sabendo que o substrato da reação seguinte é o produto da reação anterior. Nas pistas um destes produtos já seria automaticamente eliminado.

“A glicólise anaeróbica é a transformação da molécula de glicose (6 carbonos) em duas moléculas de Lactato (3 carbonos), com uma produção líquida de 2 ATPs no final do processo.”

O estudante observando a pista acima pode concluir que o lactato será o produto final da via. Sabendo disso o estudante poderia concluir que o mesmo não participaria desta reação, então o número de produtos para esta reação ficaria reduzido a dois (Fosfoenlpiruvato e Piruvato), assim o estudante ao observar as estruturas químicas facilitaria a dedução de que o 2PG perdeu uma molécula de água para o meio e com isso chegar à enzima.

Tabela 11: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a nona reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
2-Fosfoglicerato	S/I	Enolase	S/I	S/I	Correta
2-Fosfoglicerato	ADP	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	9,7%
2-Fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato quinase	S/I	S/I	9,4%
2-Fosfoglicerato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	6,6%
2-Fosfoglicerato	NADH	Enolase	S/I	S/I	5,3%
2-Fosfoglicerato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	4,2%
2-Fosfoglicerato	ADP	Enolase	S/I	S/I	4,2%
2-Fosfoglicerato	S/I	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase	S/I	S/I	3,6%
2-Fosfoglicerato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	3,3%
2-Fosfoglicerato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,3%
2-Fosfoglicerato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	2,8%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 47,6%.

6.10 Décima reação da Glicólise Anaeróbica

Na décima reação da glicólise a enzima piruvato quinase acopla a energia livre da clivagem do PEP à síntese de ATP durante a formação de Piruvato (Voet, Voet *et al.*, 2000) em uma reação irreversível (Marzzoco e Torres, 2007). A descrição desta reação segundo Robergs (2004) observamos a utilização de prótons (H^+) nesta reação (Voet, Voet *et al.*, 2000).



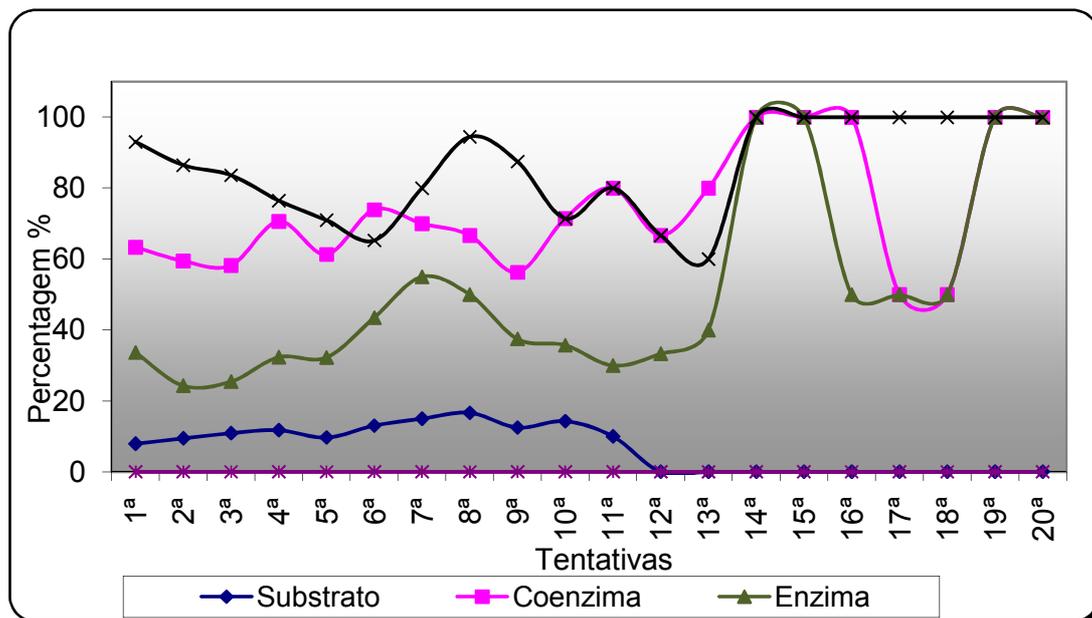


Figura 26: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da décima reação da glicólise anaeróbica.

Esta reação por possuir o fosfoenolpiruvato como substrato e sendo ele o composto com maior energia livre padrão (Marzzoco e Torres, 2007) “composto rico em energia” já nos remeteria a algumas pistas para auxiliar na resolução do problema apresentado por esta reação:

*“**Quinases:** São enzimas que catalisam a transferência de um grupamento fosfato de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula aceptora”.*

*“O nome da enzima está relacionada à **reação específica que a mesma catalisa** muitas vezes é nome do substrato ou do produto da reação”.*

Correlacionando o nome do substrato PEP com a opção dos sobrenomes das enzimas e a sua função o usuário poderia chegar à enzima Piruvato quinase. Na figura 26 vemos que esta associação foi feita pelos usuários, pois a enzima e os substratos permaneceram com menor percentual em relação ao erro ocasionado pela não utilização da coenzima e pelo próton. Quanto ao erro da coenzima bastaria o usuário associar a pista que remete a função das quinases e assim correlacionar a utilização da energia contida no substrato e a ação da enzima na transferência desta energia para a ligação do grupamento fosfato do PEP para o ADP e assim regenerando o

ATP. A questão da utilização do próton como um fator necessário para esta reação foi determinante para o erro apresentado na figura 26. Conseqüentemente a necessidade de três “substratos” para esta reação fez com que grande parte dos usuários não obtivesse sucesso nas primeiras tentativas conforme demonstrado na figura 27.

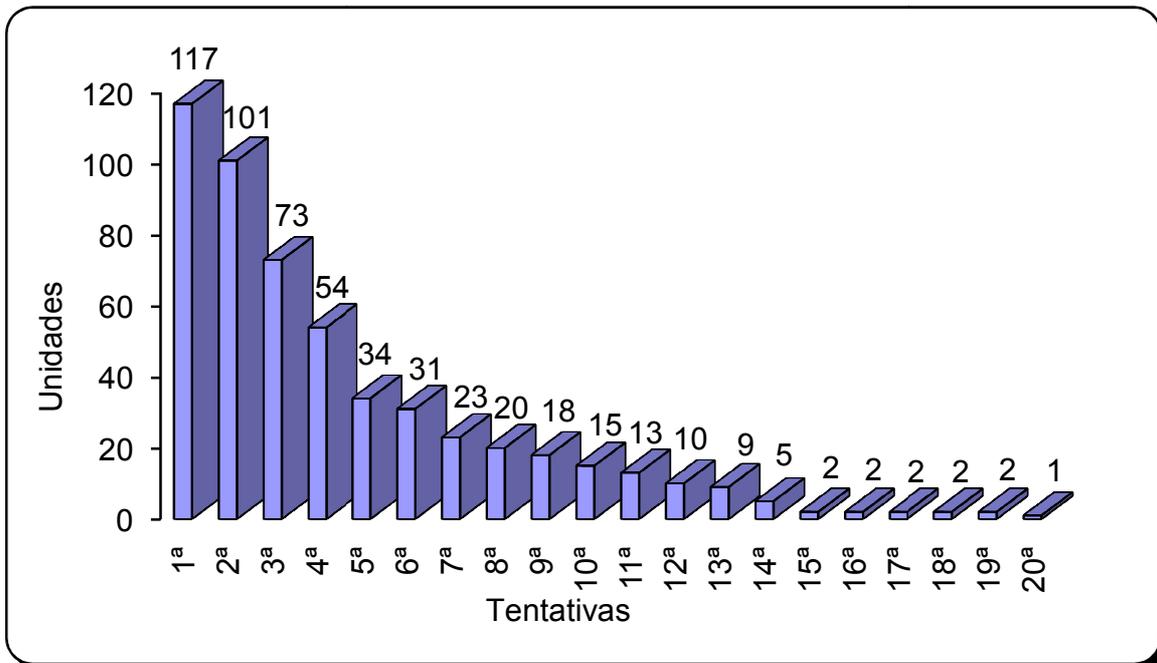


Figura 27: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da décima reação.

Tabela 12: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a décima reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

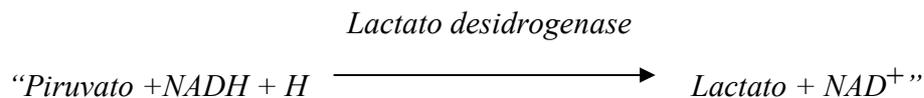
Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Fosfoenolpiruvato	ADP	Piruvato quinase	Próton	S/I	Correta
Fosfoenolpiruvato	ADP	Piruvato quinase	S/I	S/I	22,6%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	15,0%
Fosfoenolpiruvato	ATP	Piruvato quinase	S/I	S/I	7,6%
Fosfoenolpiruvato	NADH	Piruvato quinase	S/I	S/I	4,0%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Piruvato quinase	Próton	S/I	3,3%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	2,9%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	2,6%
Fosfoenolpiruvato	ATP	Piruvato quinase	Próton	S/I	2,6%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Fosfoglicerato mutase	S/I	S/I	2,4%
Fosfoenolpiruvato	S/I	Fosfofrutoquinase	S/I	S/I	1,9%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 35%.

A tabela 12 mostra claramente a questão da não utilização do próton como fator necessário para que a reação ocorra. O fato desta reação consumir próton vem possibilitar a associação do conceito de que a glicólise anaeróbica não é responsável pela acidificação do meio através da diminuição do pH (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004). Nesta reação se inicia a fase de equilíbrio entre a produção de prótons das reações anteriores (1,2,6) e a recaptação destes prótons por esta reação. As reações anteriores têm um total de 4 prótons liberados, sendo que após esta reação o saldo será de 2 prótons.

6.11 Décima primeira reação da Glicólise Anaeróbica

Na musculatura em particular durante atividades físicas vigorosas, quando a demanda por ATP é alta e o suprimento de oxigênio é insuficiente a enzima lactato desidrogenase catalisa a oxidação do NADH e a redução do piruvato produzindo NAD⁺ e Lactato (Voet, Voet *et al.*, 2000) em uma reação reversível.



A figura 28 mostra a mesma dificuldade da reação anterior (10ª reação): a não utilização do próton como fator necessário para a reação, ocasionando um grande percentual de erro (82%). A não utilização da coenzima também aparece como fator causador dos erros (65%) nas reações iniciais.

Nesta reação faz-se necessário a abordagem referente a re-oxidação da coenzima NADH para a continuidade da via glicolítica.

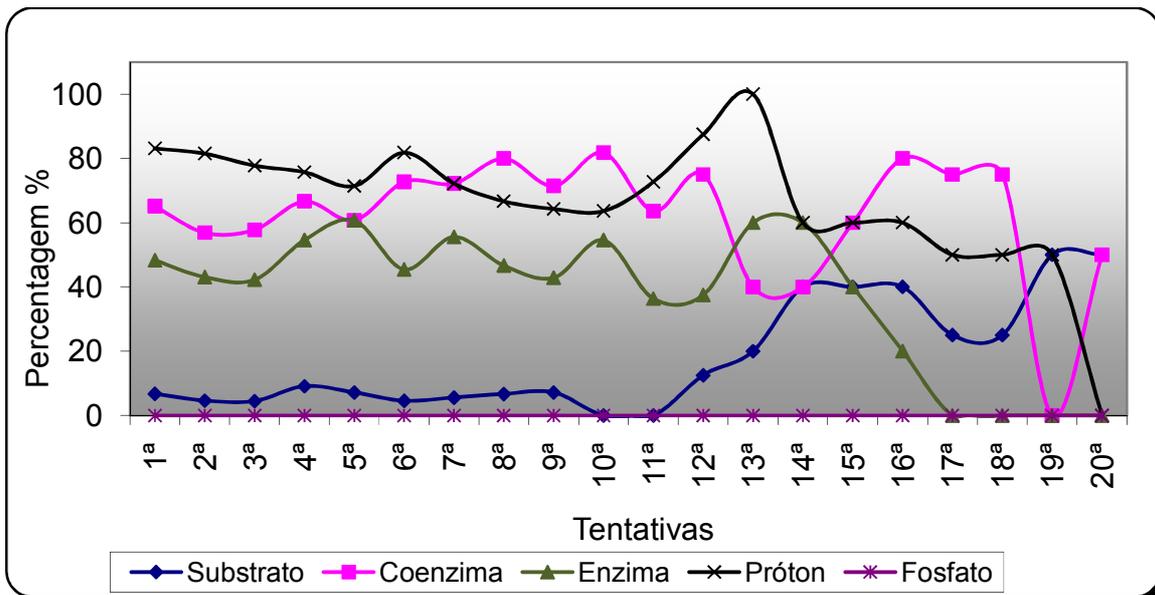


Figura 28: Percentual de erros apresentados pelos usuários durante as vinte tentativas da décima primeira reação da glicólise anaeróbica.

Outro ponto a ser abordado nesta reação é a neutralização de todos os prótons produzidos durante a via. Nesta reação os dois são restantes proporcionando a afirmação de que a glicólise anaeróbica não acidifica o meio (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004). O conceito de não formação de ácido láctico pela célula muscular durante a atividade física intensa também pode ser trabalhado nesta reação (Voet, Voet *et al.*, 2000; Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004).

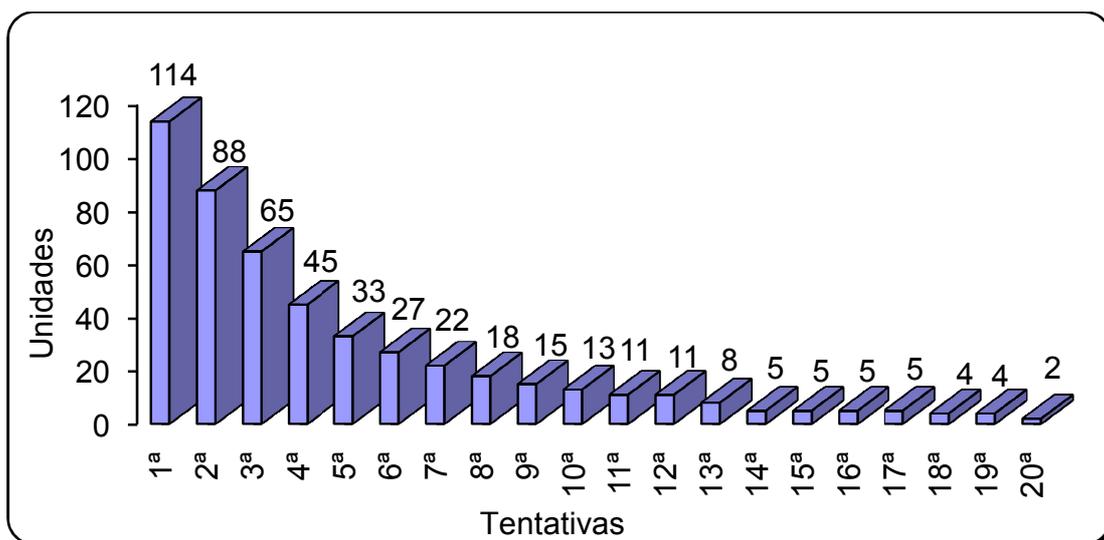


Figura 29: Quantidade de usuários que acertaram a reação durante as vinte tentativas da décima primeira reação

Para a resolução desta reação os usuários poderiam através da dedução lógica da utilização das enzimas, em que a única não utilizada em nenhuma reação anterior foi a Lactato desidrogenase. Descobrimo a enzima e associando a pista presente no programa descrito abaixo.

*“O nome da enzima está relacionada à reação específica que a mesma catalisa muitas vezes é nome do **substrato ou do produto** da reação”.*

*“**Desidrogenases:** são enzimas que catalisam reações de oxi-redução por transferência de hidrogênio do substrato para uma coenzima, geralmente NAD^+ ou flavina-adenina dinucleotídeo (FAD)”*

De posse desta informação o usuário poderia deduzir qual seria a coenzima correta (NADH).A necessidade de utilização de mais de um componente para a reação pode ter ocasionado o grande número de erros nas primeiras tentativas como demonstrando na figura 29

Tabela 13: As dez principais seqüências de erros apresentados pelos usuários durante a décima primeira reação da glicólise anaeróbica até a vigésima tentativa.

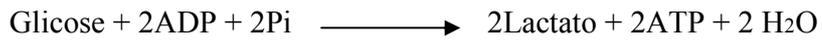
Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato	% Erro
Piruvato	NADH	Lactato desidrogenase	Próton	S/I	Correta
Piruvato	NADH	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	15,5%
Piruvato	S/I	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	14,2%
Piruvato	ATP	Lactato desidrogenase	S/I	S/I	7,0%
Piruvato	S/I	Lactato desidrogenase	Próton	S/I	5,9%
Piruvato	S/I	Piruvato quinase	S/I	S/I	5,4%
Piruvato	ATP	Lactato desidrogenase	Próton	S/I	5,2%
Piruvato	NADH	Piruvato quinase	S/I	S/I	4,1%
Piruvato	S/I	Triose fosfato isomerase	S/I	S/I	3,6%
Lactato	NADH	Lactato desidrogenase	Próton	S/I	3,6%
Piruvato	S/I	Enolase	S/I	S/I	3,4%

S/I – Sem Informação (em branco), os demais erros somados representam 32,2%.

O conhecimento sobre a não acidificação do meio quando da necessidade de re-oxidação da coenzima em detrimento da necessidade de energia em curto espaço de tempo possibilitaria aos usuários uma diminuição (15,5%) direta nos erros apresentados na tabela 13.

Esta reação possibilita ao professor o desenvolvimento dos conceitos referentes à reação de oxi-redução, não formação de ácido láctico, a não acidificação do meio pela glicólise anaeróbica.

O processo geral da glicolise anaeróbica no músculo pode assim ser representado



7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi desenvolvido visando fornecer alternativas didáticas para apresentação de conteúdo para o ensino de vias metabólicas, com a utilização de um programa específico. Também se mensurou a forma de utilização do programa para a montagem da glicólise anaeróbica com ênfase em onze reações. A partir dos resultados deste trabalho, obtidos por métodos selecionados no desenvolvimento da pesquisa pode-se indicar as seguintes questões:

- 1) Observou-se que o material alternativo na forma de programa possibilita ao professor uma abordagem diferenciada, pois os recursos oferecidos fornecem elementos que extrapolam um plano analógico. A animação desenvolvida em uma linguagem apropriada possibilitou a integração entre os novos conceitos e os anteriores decorrentes das discussões do tema.
- 2) O banco de dados criado com o uso do programa pelos estudantes permitiu o armazenamento de informações referentes à forma de utilização. O tratamento dos dados estatísticos auxiliou na análise dos erros e acertos que em uma visão educacional indica a apropriação ou não dos conceitos e conteúdos envolvidos na via metabólica. A correlação das pistas apresentadas no programa, à manipulação das reações, e o conhecimento prévio do estudante seriam importantes na resolução das situações problemas em que ele foi exposto. No entanto percebeu-se que nem sempre esta premissa foi possível, pois as estatísticas mostram que as tentativas muitas vezes eram aleatórias. Outro fator interessante é o uso do próprio tratamento estatístico no diagnóstico das possíveis dificuldades de entendimento dos conceitos e sua retomada. Se o estudante tivesse uma linha de raciocínio originalmente sugerida entre pistas e auxílios do próprio professor os erros provavelmente seriam minimizados.
- 3) As reações que apresentaram mais de dois fatores necessários para a resolução da situação problema foram as que tiveram maiores índices de erros. Um exemplo disto é a Primeira e a Sexta reação que necessitavam de mais de dois fatores. Fato este demonstrado pelo percentual de usuários (21% para a 1ª reação e 14% para a 2ª reação) que não conseguiram concluir a reação até a vigésima tentativa.

- 4) Os erros mais comuns estão relacionados com o conceito de especificidade enzimática. Podemos notar que nas últimas reações os usuários continuavam a utilizar-se de enzimas de reações passadas, indicando a não apropriação deste conceito.

Foi possível avaliar a forma de utilização do programa, bem como indicar procedimentos a serem adotados na questão de retomada de conteúdos anteriormente abordados quando do ensino desta via metabólica. Além disso, foi possível identificar as principais dificuldades na montagem das onze reações que compreende a glicólise anaeróbica levando em conta os substratos coenzimas enzimas fosfato e prótons pelos estudantes.

O programa serve como ferramenta didática para o ensino e como forma de avaliação dos conceitos prévios a utilização do mesmo, sendo necessários maiores ajustes e pesquisa a respeito do tema. No entanto, se não tiver o professor como ponte de conhecimento teórico e técnico de nada adiantaria essa ferramenta, pois o processo de aprendizagem se dá através da superação de desafios.

Após análise dos dados estatísticos e em conversa com os professores que aplicaram o programa, vislumbrou-se uma nova perspectiva para a sua utilização. Sendo o mesmo utilizado como meio de avaliação do aprendizado e possível retomada do conteúdo. Como projeto futuro há a possibilidade de uma abordagem de maior aproveitamento do assunto. Se o programa fosse efetivamente usado como método de avaliação com aplicação de escala de desempenho, talvez a análise estatística pudesse ser mais livre da aleatoriedade. Os estudantes poderiam ter uma margem de erro, calculada a partir desse projeto, mas se buscaria estratégias para maior concentração e aproveitamento do assunto. Vimos que o estabelecimento de relações entre os conceitos foi importante para a resolução das situações problemas. Entretanto o estudante se ateve pouco ao recurso da pista, O recurso de utilização das pistas poderia ser sanado com algumas regras de aplicabilidade, em que o usuário dependesse da pista para passar adiante no processo de entendimento da via glicolítica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. R. **O uso de recursos tecnológicos em um programa público de educação um estudo em escolas municipais de Curitiba.** 2005. Faculdade de Educação, PUCPR, Curitiba.

AZEVEDO, A. M. P. et al. **Relato de uma experiência com o uso do Diagrama Metabólico Dinâmico Virtual do Ciclo de Krebs.** *Novas Tecnologias na Educação.* 2 2004.

AZEVEDO, B. F. T. **Tópicos em Construção de Software Educacional.** 1997. (Mestrado). Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BORK, A. **Personal computers for education.** New York -NY - USA: Harper & Row Publishers, 1985.

BRANDÃO, E. J. R. Repensando modelos de avaliação de software educacional. Portugal, 1998. Disponível em: < www.infobom.com.br/izabel/Textos-SE/Repensando%20modelos%20de%20Avaliação%20SE.doc >. Acesso em: 12/05/2007.

BUCHALLA, A. P.; NEIVA, P. Metabolismo. Revista Veja - São Paulo, 2007. Disponível em: < http://veja.abril.com.br/110707/p_078.shtml >. Acesso em: 03/09/2007.

FERREIRA, A. M. Dicionet. Lisboa, 1995. ISSN 972-722-288-9. Disponível em: < <http://dicio.net/cgi-bin/pesquisa?palavra=web&x=0&y=0> >. Acesso em: 01/01/08.

FISCINA, F. L. F. Características particulares de aprendizado identificadas no ensino a distância. Feira de Santana - Bahia, 2004. Disponível em: < <http://www.uefs.br/erbase2004/documentos/weibase/Weibase2004Artigo003.pdf> >. Acesso em: 02/04/2007.

FREITAS, M. T. A. **Vygotsky e Bakhtin–Psicologia e Educação : Um Intertexto.** 4ª. São Paulo: Editora Ática, 1999. 168 p

GALEMBECK, E. et al. **Oxygen Consumption by Isolated Mitochondria: Software for Planning and Interpreting Experiments:** PERGAMON PRESS. 26: 41-43 p. 1998.

GALEMBECK, E. O. et al. **Manual do usuário: Biologia em multimeios.** São Paulo: Kitmais, 2004.

GESCHKE, C.; WARNOCK, J. Adobe Systems incorporated. San Jose, Califórnia, 1982. Disponível em: < <http://www.adobe.com/br/aboutadobe/> >. Acesso em: 20/11/2007.

HEINECK, R.; VALIATI, E. R. A.; DA ROSA, C. T. W. **Software educativo no ensino de Física: análise quantitativa e qualitativa:** Revista Iberoamericana de Educación. 42 2007.

HORNINK, G. G. **Formação continuada de professores de biologia com uso de "softwares livres"**. 2006. (Mestrado). Bioquímica, Universidade Estadual Paulista, Campinas.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 3ª Edição. São Paulo: 2002. 975

LENINGHER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 2ª. São Paulo: Editora Savier, 1995. 839 p

LERDOF, R. Personal Home Page Tools. 1995. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/PHP#Hist.C3.B3rico> >. Acesso em: 14/08/2007.

LEVY, P. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. 13ª. São Paulo: Editora 34, 2004.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 18ª. São Paulo: : Editora Cortez, 2001. 262 p

MACROMEDIA. ActionScript. 1999. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/ActionScript> >. Acesso em: 22/03/2007.

MARTZ, E. RasMol Home Page. 1995. Disponível em: < <http://www.umass.edu/microbio/rasmol/index2.htm> >. Acesso em: 21/05/2007.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica Básica**. 3ª. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 400 p

MEIRA, L. Reflexões sobre aprendizagem e ensino na Internet. Recife, 2002. Disponível em: < <http://www.sedycias.com/impact14.htm> >. Acesso em: 12/08/2007.

MYSQL, A. B. MySQL. 1995 - 2008. Disponível em: < <http://www.mysqlbrasil.com.br/> >. Acesso em: 12/10/2007.

RAMOS, E. M. F. **Educação e informática: reflexões básicas**. Graf & Tec: 11-26 p. 1996.

ROBERGS, R. A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. **Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis**: Am Physiological Soc. 287: 502-516 p. 2004.

RODRIGUES, J. **A taxonomia de objetivos educacionais - um manual para o usuário**. Brasília: Editora UNB, 1994.

ROSINI, A. M. **A educação e o mito do ensino a distância no Brasil**. ADMINISTRAÇÃO, I. C. V. B. D. 2001.

VALENTE, J. A. **Computadores e conhecimento: repensando a educação**. Campinas: NIED, 1993.

_____. A informática na educação: Como, para que e por que. , 2001. ISSN 1677-2318. Disponível em: < <http://www.sbbq.org.br/revista/artigo.php?artigoid=4> >. Acesso em: 16/03/2006.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de Bioquímica**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 353-81

VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. São Paulo: Editora Ática, 1988.

WIKIPÉDIA. MySQL. 2008. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/MySQL> >. Acesso em: 11/12/2007.

WWPDB. Worldwide Protein Data Bank. 1971. Disponível em: < <http://www.wwpdb.org/> >. Acesso em: 10/11/2007.

YOKAICHIYA, D. K. et al. **AMPC - Sinalização intracelular: um software educacional**: Scielo. 27: 489-491 p. 2004.

YOKAICHIYA, D. K.; GALEMBECK, E.; TORRES, B. B. **Rapistas livres de oxigênio: um software introdutório**: Scielo. 23: 267-269 p. 2000.

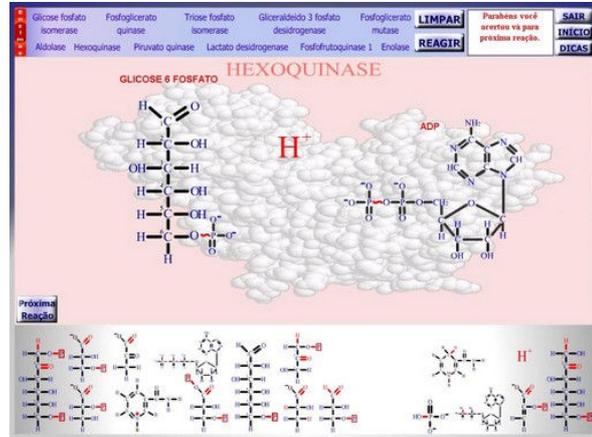
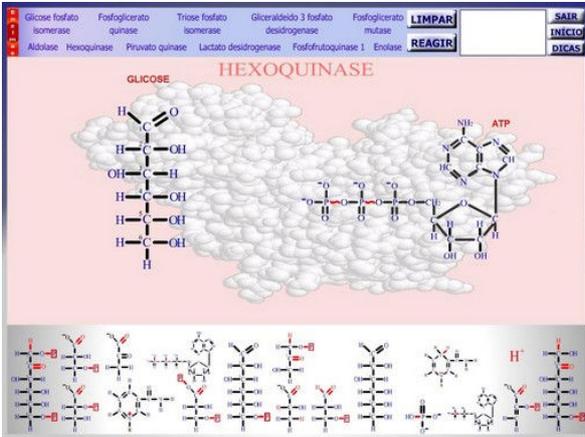
_____. **Expectativas e Fatores de Interesse por Ensino a Distância na área de Bioquímica: relatos de uma pesquisa pré e pós aplicação de uma disciplina de Bioquímica a Distância**: RBEBBM. 2: 2001 p. 2001.

ZAIA, D. A. M. **Da geração espontânea à química prebiótica**: scielo. 26: 260-264 p. 2003.

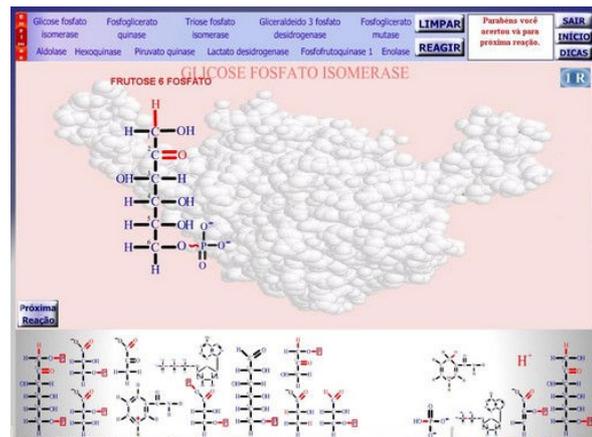
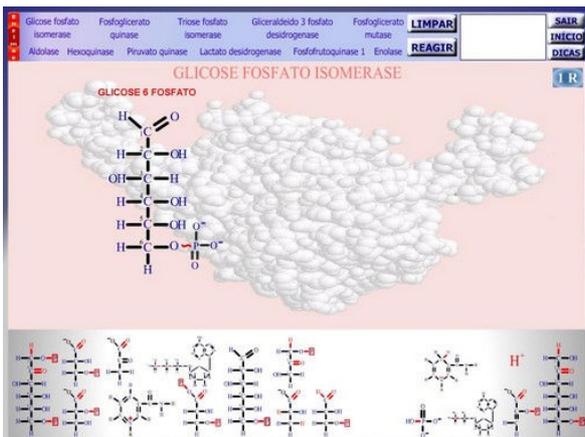
9 ANEXOS

ANEXO I

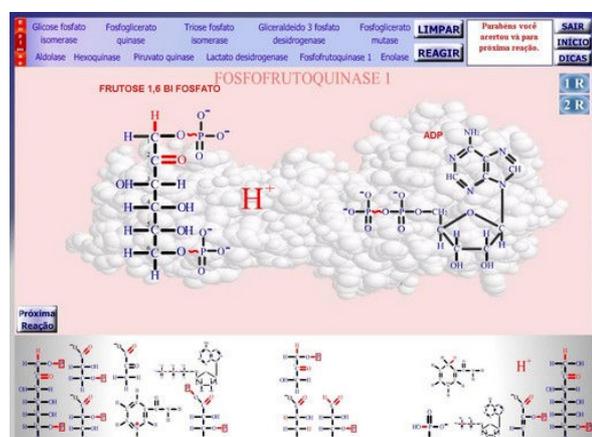
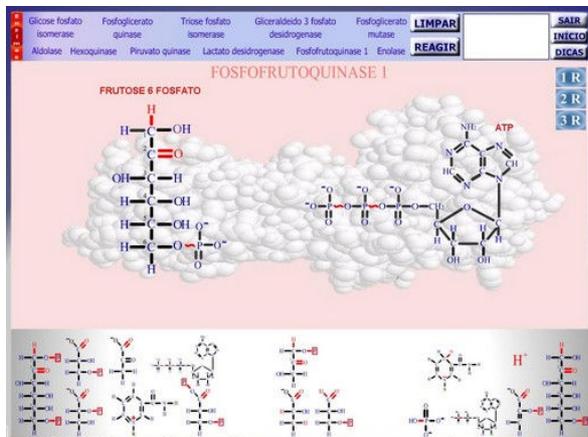
1ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Ativação da Glicose



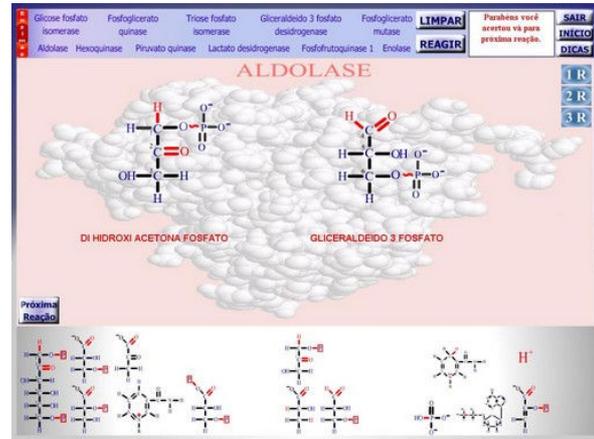
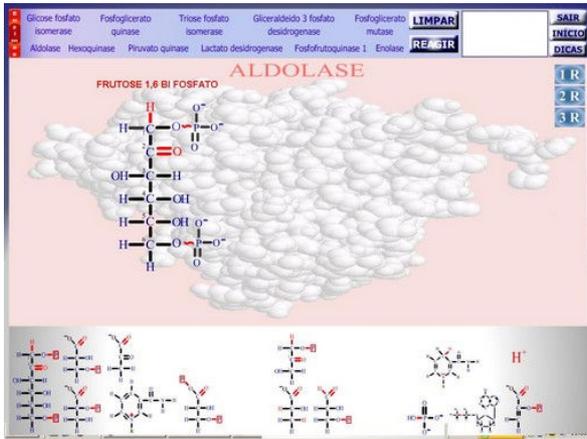
2ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Isomerização da Glicose 6 fostato



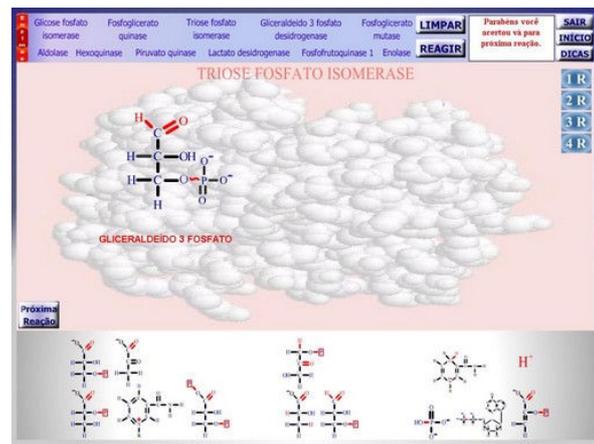
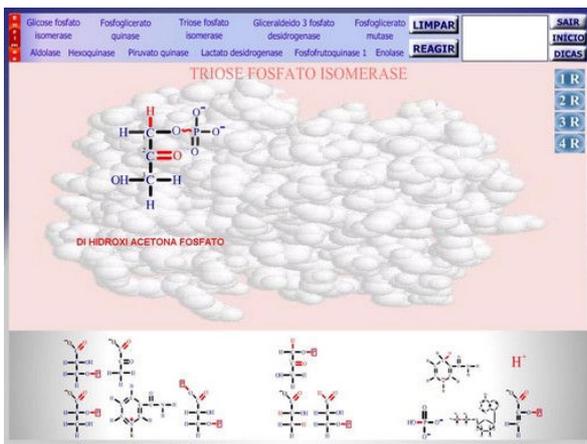
3ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Fosforilação da Frutose 6 fosfato a custas de ATP



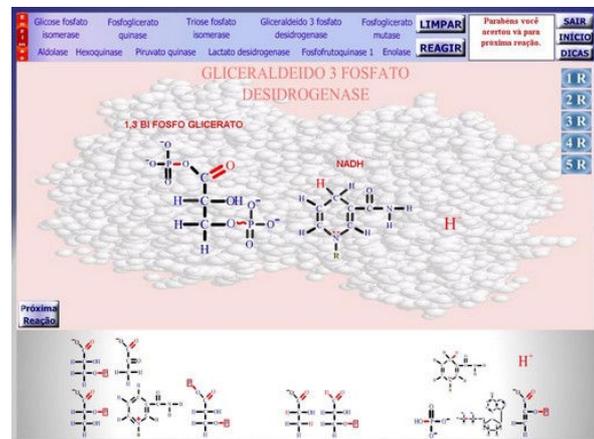
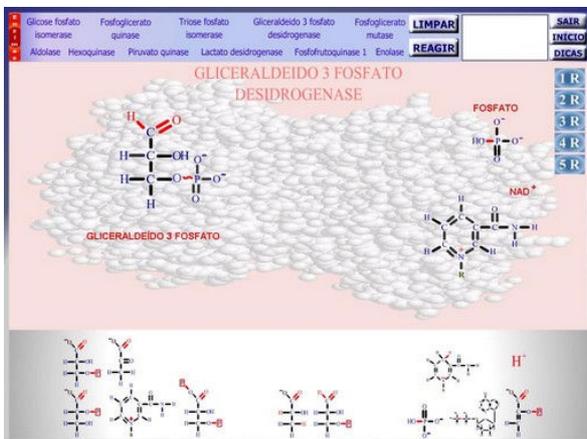
4ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Frutose 1,6 fosfato é cindida em dois açúcares



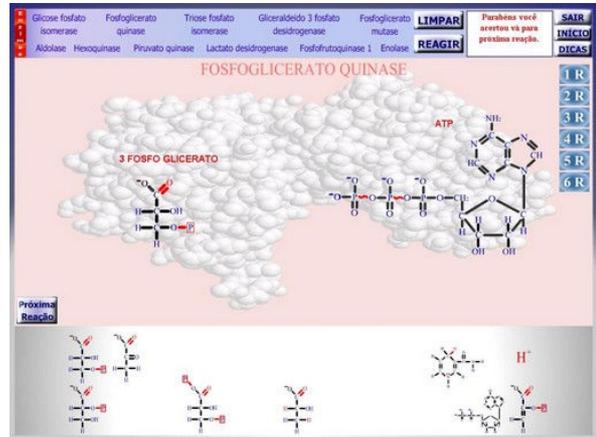
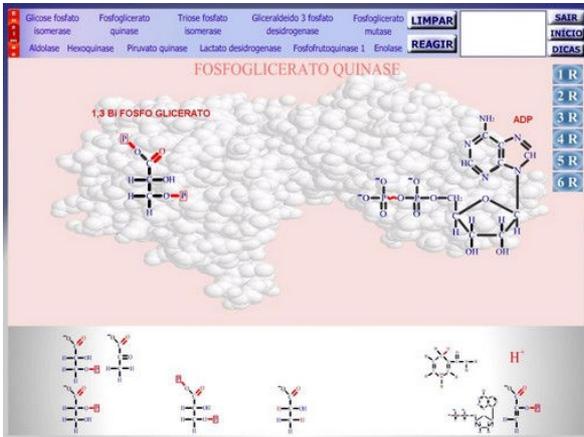
5ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Di Hidroxi Acetona Fosfato é isomerizada a Gliceraldeído 3 Fosfato.



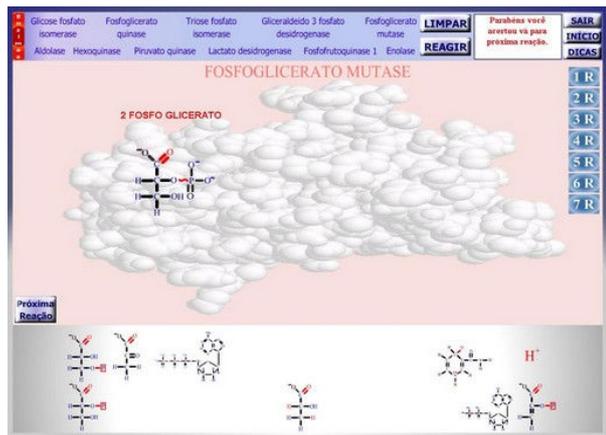
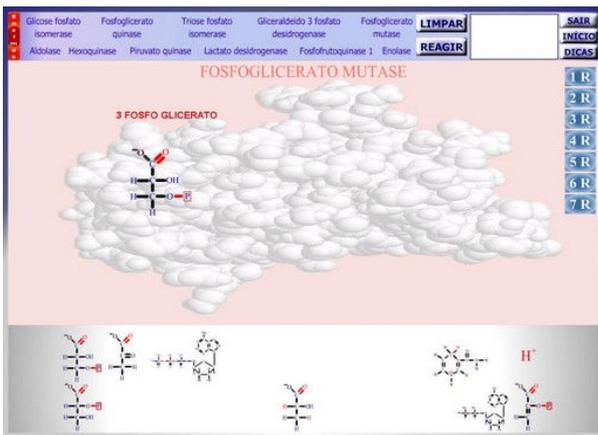
6ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Gliceraldeído 3 Fosfato, Nad e Fosfato inorgânico pela ação da enzima gliceraldeído 3 fosfato desidrogenase em uma reação de oxi-redução da origem a 1,3 Bis Fosfo Glicerato



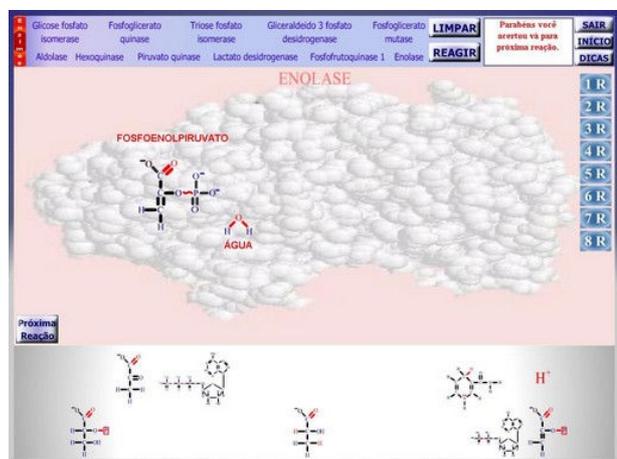
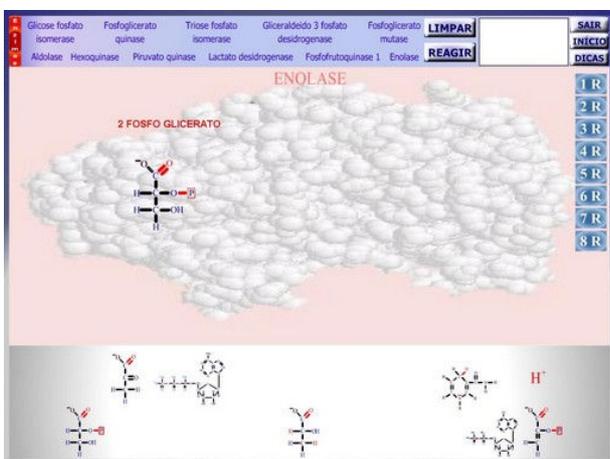
7ª Reação da Glicólise Anaeróbica: 1,3 Bis Fosfo Glicerato e ADP pela ação da enzima Fosfo Glicerato Quinase da origem a 3 Fosfo Glicerato, nesta reação temos a ressintese do ATP



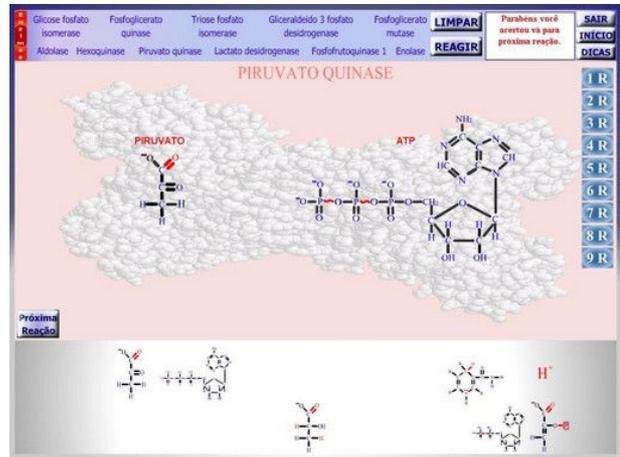
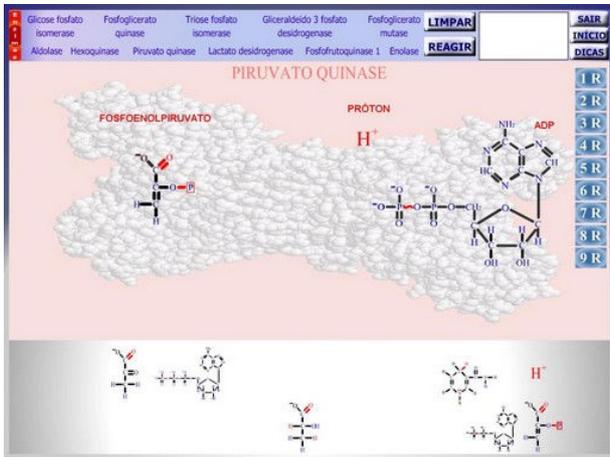
8ª Reação da Glicólise Anaeróbica: 3 Fosfo Glicerato sofre ação da enzima Fosfoglicerato Mutase dando origem a 2 Fosfo Glicerato



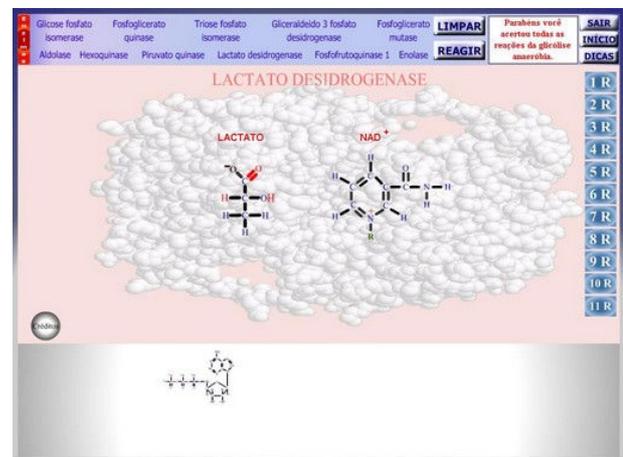
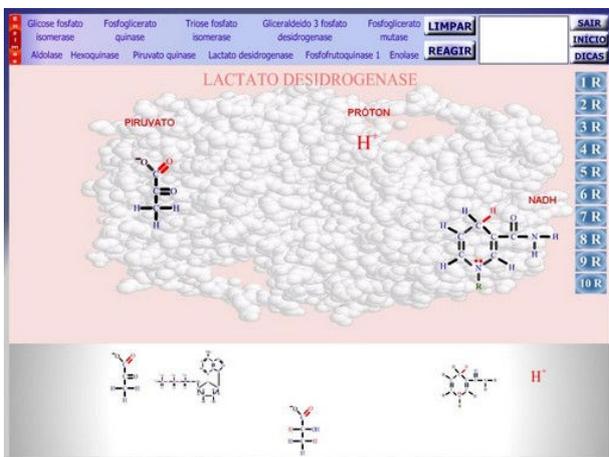
9ª Reação da Glicólise Anaeróbica: 2 Fosfo Glicerato é desidratado pela ação da enzima Enolase dando origem ao Fosfoenolpiruvato



10ª Reação da Glicólise Anaeróbica: Fosfoenolpiruvato, ADP e Próton pela ação da enzima Piruvato Quinase da Ressintetiza novamente o ATP e da origem ao Piruvato



11ª Reação da Glicólise Anaeróbica: A última reação da Glicólise anaeróbica o Piruvato recebe um próton da coenzima NADH e um próton do meio pela ação da enzima Lactato Desidrogenase esta reação recebe o nome de reação de oxi-redução dando origem ao Lactato e a coenzima Nad oxidada.



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título da Pesquisa: “Desenvolvimento e avaliação de um método para ensino da glicólise anaeróbica baseado na montagem da via metabólica assistida por computador”.

Pesquisador : Mário Ferreira Sarraipa

Orientador : Prof. Dr. Eduardo Galembeck

Natureza da pesquisa: A sra (sr.) está sendo convidada (o) a participar desta pesquisa que tem como finalidade avaliar uma abordagem de ensino para estudo de vias metabólicas baseada na montagem, passo-a-passo de vias metabólicas assistida por computador. Participantes da pesquisa: Participarão desta pesquisa internautas que acessam a página do servidor onde se encontra hospedado o programa. Envolvimento na pesquisa: ao participar deste estudo a sra (sr) permitirá que o pesquisador Mário Ferreira Sarraipa colete e utilize as informações referente ao uso do programa. A sra (sr.) tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para a sra (sr.). Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do e-mail (mariof@unicamp.br) do pesquisador do projeto. Riscos e desconforto: a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade. Confidencialidade: todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente o pesquisador e o orientador terão conhecimento dos dados individuais. Benefícios: ao participar desta pesquisa a sra (sr.) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo trouxesse informações importantes sobre uma metodologia diferenciada de ensino, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa auxiliar nas aulas de bioquímica tanto a distância quanto presencial. Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Portanto a sra (sr.) assinale uma das opções abaixo:

Clique em um dos botões abaixo:

Concordo com os termos do TCLE e quero participar da pesquisa

Não quero participar da pesquisa

Anexo III

Tabela Erros apresentados pelos usuários na primeira reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Glicose	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	195	26	2	169	93	147	136	4	15
2 ^a	167	21	7	146	72	123	113	5	24
3 ^a	139	10	0	129	68	113	107	6	18
4 ^a	129	10	1	119	41	93	83	14	14
5 ^a	118	10	0	108	48	87	91	8	16
6 ^a	108	5	0	103	41	93	83	14	14
7 ^a	103	6	0	97	42	85	78	8	15
8 ^a	97	6	3	91	44	80	68	10	13
9 ^a	88	3	0	85	39	73	63	10	12
10 ^a	85	8	0	77	39	66	56	12	16
11 ^a	77	2	0	75	41	63	54	8	11
12 ^a	75	7	0	68	28	59	47	11	8
13 ^a	68	6	0	62	32	55	42	8	11
14 ^a	62	3	0	59	28	52	36	7	10
15 ^a	59	3	0	56	25	47	37	7	10
16 ^a	56	1	0	55	26	49	33	10	11
17 ^a	55	4	1	51	20	43	29	7	10
18 ^a	50	4	0	46	22	41	28	6	10
19 ^a	46	2	0	44	17	39	25	5	8
20 ^a	44	3	0	41	14	36	25	8	9

Anexo 4

Tabela Erros apresentados pelos usuários na segunda reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	185	82	6	103	18	46	76	5	2
2 ^a	97	21	1	76	9	41	57	6	4
3 ^a	75	17	1	58	11	31	43	7	5
4 ^a	57	11	0	46	7	28	38	3	7
5 ^a	46	3	0	43	8	27	33	4	4
6 ^a	43	5	0	38	6	21	28	4	4
7 ^a	38	2	0	36	5	20	26	4	4
8 ^a	36	5	0	31	7	18	21	2	2
9 ^a	31	5	0	26	6	18	15	2	5
10 ^a	26	3	0	23	7	18	10	4	5
11 ^a	23	4	0	19	9	13	8	3	2
12 ^a	19	1	0	18	6	16	9	3	2
13 ^a	18	1	1	17	6	11	7	4	4
14 ^a	16	1	0	15	4	11	4	3	5
15 ^a	15	3	0	12	3	9	5	2	4
16 ^a	12	2	0	10	3	8	3	0	5
17 ^a	10	1	0	9	6	6	4	2	3
18 ^a	9	1	0	8	6	5	4	1	3
19 ^a	8	0	0	8	6	5	5	0	2
20 ^a	8	0	0	8	6	5	6	0	2

Anexo V

Tabela Erros apresentados pelos usuários na terceira reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	170	64	3	106	21	87	62	0	6
2 ^a	103	35	2	68	11	60	37	0	8
3 ^a	66	17	2	49	10	40	29	2	8
4 ^a	47	9	0	38	10	34	19	2	4
5 ^a	38	6	0	32	8	30	18	2	5
6 ^a	32	3	0	29	10	27	16	2	3
7 ^a	29	4	1	25	7	23	13	2	3
8 ^a	24	2	0	22	8	21	13	1	3
9 ^a	22	3	1	19	6	16	10	2	3
10 ^a	18	3	0	15	6	14	6	2	1
11 ^a	15	4	0	11	3	10	6	1	1
12 ^a	11	1	0	10	5	9	5	1	2
13 ^a	10	1	0	9	6	7	4	0	4
14 ^a	9	1	0	8	6	7	4	1	4
15 ^a	8	0	0	8	7	7	3	1	3
16 ^a	8	0	0	8	4	6	5	2	3
17 ^a	8	2	0	6	4	4	4	0	1
18 ^a	6	0	0	6	6	6	4	0	0
19 ^a	6	0	0	6	5	6	4	0	0
20 ^a	6	0	0	6	4	5	4	1	0

Anexo VI

Tabela Erros apresentados pelos usuários na quarta reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	166	83	0	83	4	8	80	5	1
2 ^a	83	15	1	68	2	10	64	3	1
3 ^a	67	9	0	58	2	7	55	1	1
4 ^a	58	9	0	49	3	5	46	3	2
5 ^a	49	12	0	37	3	4	35	2	1
6 ^a	37	8	0	29	3	4	27	1	2
7 ^a	29	8	0	21	0	3	21	1	2
8 ^a	21	3	0	18	1	4	17	3	2
9 ^a	18	5	0	13	0	4	11	2	2
10 ^a	13	2	0	11	2	4	10	2	1
11 ^a	11	2	0	9	2	3	8	1	0
12 ^a	9	2	0	7	1	3	6	1	0
13 ^a	7	0	0	7	1	2	5	1	0
14 ^a	7	1	0	6	1	1	5	0	0
15 ^a	6	2	0	4	1	1	3	0	0
16 ^a	4	1	0	3	1	1	2	0	0
17 ^a	3	1	0	2	1	1	1	0	0
18 ^a	2	1	0	1	1	1	0	0	0
19 ^a	1	0	0	1	1	1	0	0	0
20 ^a	1	0	0	1	1	1	0	0	0

Anexo VII

Tabela Erros apresentados pelos usuários na quinta reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	153	69	1	84	47	11	73	1	6
2 ^a	83	14	0	69	35	18	54	3	4
3 ^a	69	11	1	58	28	14	46	2	5
4 ^a	57	9	0	48	21	15	40	4	3
5 ^a	48	8	2	40	15	13	31	4	4
6 ^a	38	7	0	31	11	9	26	3	2
7 ^a	31	5	1	26	9	7	21	2	2
8 ^a	25	2	0	23	10	7	21	3	1
9 ^a	23	3	0	20	7	6	15	2	1
10 ^a	20	3	0	17	7	5	13	2	1
11 ^a	17	4	0	13	6	4	11	1	1
12 ^a	13	0	0	13	6	5	10	1	2
13 ^a	13	2	0	11	6	4	8	2	2
14 ^a	11	2	0	9	6	4	6	1	3
15 ^a	9	1	0	8	5	3	5	2	2
16 ^a	8	3	0	5	4	3	4	1	2
17 ^a	5	0	0	5	4	2	5	0	1
18 ^a	5	1	0	4	4	2	3	0	1
19 ^a	4	0	0	4	4	2	2	0	2
20 ^a	4	1	0	3	3	3	1	0	2

Anexo VIII

Tabela Erros apresentados pelos usuários na sexta reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	143	26	1	117	7	98	28	6	100
2 ^a	116	17	0	99	6	77	22	21	83
3 ^a	99	8	1	91	6	70	17	20	70
4 ^a	90	10	1	80	8	64	19	18	64
5 ^a	79	4	0	75	11	58	23	17	59
6 ^a	75	4	0	71	11	52	21	15	55
7 ^a	71	4	1	67	10	53	19	15	51
8 ^a	66	5	0	61	6	54	17	11	50
9 ^a	61	3	0	58	10	46	17	15	46
10 ^a	58	3	0	55	8	43	20	7	44
11 ^a	55	4	2	51	7	37	15	9	40
12 ^a	49	3	1	46	5	37	12	9	34
13 ^a	45	2	1	43	5	37	13	10	32
14 ^a	42	5	1	37	3	28	13	13	24
15 ^a	36	4	0	32	2	27	10	10	22
16 ^a	32	2	1	30	2	26	7	10	19
17 ^a	29	1	0	28	2	22	8	7	19
18 ^a	28	3	0	25	5	15	3	6	19
19 ^a	25	1	0	24	4	16	3	5	19
20 ^a	24	3	1	21	4	13	3	4	13

Anexo IX

Tabela Erros apresentados pelos usuários na sétima reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	132	36	0	96	7	76	69	7	0
2 ^a	96	28	2	68	4	54	45	5	0
3 ^a	66	14	0	52	4	38	31	9	0
4 ^a	52	10	0	42	5	33	26	11	0
5 ^a	42	7	1	35	2	28	20	11	0
6 ^a	34	6	1	28	2	22	14	9	0
7 ^a	27	2	0	25	3	20	16	5	0
8 ^a	25	4	0	21	4	17	15	4	0
9 ^a	21	0	0	21	3	16	13	4	0
10 ^a	21	2	0	19	1	16	11	4	0
11 ^a	19	4	0	15	1	13	10	3	0
12 ^a	15	4	0	11	1	10	7	3	0
13 ^a	11	4	0	7	1	6	5	2	0
14 ^a	7	1	0	6	0	5	4	3	0
15 ^a	6	1	0	5	0	5	3	2	0
16 ^a	5	0	0	5	0	5	4	2	0
17 ^a	5	0	0	5	1	5	3	2	0
18 ^a	5	1	0	4	1	4	1	2	0
19 ^a	4	1	0	3	0	3	0	2	0
20 ^a	3	1	0	2	0	2	1	2	0

Anexo X

Tabela Erros apresentados pelos usuários na oitava reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	125	68	2	57	6	17	51	2	0
2 ^a	55	17	0	38	6	14	32	3	0
3 ^a	38	12	0	26	2	9	23	3	0
4 ^a	26	4	0	22	3	8	20	2	0
5 ^a	22	7	0	15	1	9	14	0	0
6 ^a	15	3	0	12	1	7	12	0	0
7 ^a	12	2	0	10	0	6	9	0	0
8 ^a	10	1	0	9	0	6	8	1	0
9 ^a	9	1	0	8	0	5	5	2	0
10 ^a	8	0	0	8	0	4	6	1	0
11 ^a	8	1	0	7	0	4	5	1	0
12 ^a	7	1	0	6	0	5	3	1	0
13 ^a	6	2	0	4	0	2	3	0	0
14 ^a	4	1	0	3	1	1	2	0	0
15 ^a	3	2	0	1	0	1	1	0	0
16 ^a	1	0	0	1	0	1	1	0	0
17 ^a	1	0	0	1	0	1	1	0	0
18 ^a	1	0	0	1	0	1	1	0	0
19 ^a	1	0	0	1	0	1	1	0	0
20 ^a	1	0	0	1	0	1	1	0	0

Anexo XI

Tabela Erros apresentados pelos usuários na nona reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1ª	122	59	2	63	10	21	58	0	0
2ª	61	18	0	43	5	19	41	2	0
3ª	43	6	0	37	2	19	35	0	0
4ª	37	7	0	30	1	14	29	0	0
5ª	30	5	0	25	1	11	24	1	0
6ª	25	2	0	23	1	11	20	1	0
7ª	23	3	0	20	1	13	16	1	0
8ª	20	4	0	16	1	11	13	1	0
9ª	16	1	0	15	1	11	12	2	0
10ª	15	1	0	14	1	10	9	1	0
11ª	14	0	0	14	1	10	10	2	0
12ª	14	3	0	11	1	9	7	2	0
13ª	11	1	0	10	0	8	8	1	0
14ª	10	0	0	10	1	9	5	1	0
15ª	10	2	0	8	1	8	4	3	0
16ª	8	0	0	8	0	6	3	2	0
17ª	8	2	1	6	0	5	3	1	0
18ª	5	0	0	5	0	4	2	1	0
19ª	5	1	0	4	0	3	3	0	0
20ª	4	1	0	3	0	2	3	0	0

Anexo XII

Tabela Erros apresentados pelos usuários na décima reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	117	16	0	101	8	64	34	94	0
2 ^a	101	27	1	74	7	44	18	64	0
3 ^a	73	18	1	55	6	32	14	46	0
4 ^a	54	20	0	34	4	24	11	26	0
5 ^a	34	3	0	31	3	19	10	22	0
6 ^a	31	8	0	23	3	17	10	15	0
7 ^a	23	3	0	20	3	14	11	16	0
8 ^a	20	2	0	18	3	12	9	17	0
9 ^a	18	2	1	16	2	9	6	14	0
10 ^a	15	1	1	14	2	10	5	10	0
11 ^a	13	3	0	10	1	8	3	8	0
12 ^a	10	1	0	9	0	6	3	6	0
13 ^a	9	4	0	5	0	4	2	3	0
14 ^a	5	3	0	2	0	2	2	2	0
15 ^a	2	0	0	2	0	2	2	2	0
16 ^a	2	0	0	2	0	2	1	2	0
17 ^a	2	0	0	2	0	1	1	2	0
18 ^a	2	0	0	2	0	1	1	2	0
19 ^a	2	1	0	1	0	1	1	1	0
20 ^a	1	0	0	1	0	1	1	1	0

Anexo XIII

Tabela Erros apresentados pelos usuários na décima primeira reação até a vigésima tentativa.

Tentativa	Total	Acertos	Desistências	Tipo de Erro					
				Total	Substrato	Coenzima	Enzima	Próton	Fosfato
1 ^a	114	22	2	89	6	58	43	74	0
2 ^a	88	23	0	65	3	37	28	53	0
3 ^a	65	20	0	45	2	26	19	35	0
4 ^a	45	12	0	33	3	22	18	25	0
5 ^a	33	4	1	28	2	17	17	20	0
6 ^a	27	5	0	22	1	16	10	18	0
7 ^a	22	4	0	18	1	13	10	13	0
8 ^a	18	3	0	15	1	12	7	10	0
9 ^a	15	1	1	14	1	10	6	9	0
10 ^a	13	2	0	11	0	9	6	7	0
11 ^a	11	0	0	11	0	7	4	8	0
12 ^a	11	3	0	8	1	6	3	7	0
13 ^a	8	3	0	5	1	2	3	5	0
14 ^a	5	0	0	5	2	2	3	3	0
15 ^a	5	0	0	5	2	3	2	3	0
16 ^a	5	0	0	5	2	4	1	3	0
17 ^a	5	1	0	4	1	3	0	2	0
18 ^a	4	0	0	4	1	3	0	2	0
19 ^a	4	2	0	2	1	0	0	1	0
20 ^a	2	0	0	2	1	1	0	0	0

Anexo XIV

Valores	Possibilidades						Total
	1a12	19a29	17	13a16	13a16	18	
Escolhendo	Possibilidades de Escolha						Total
	Substratos	Enzima	Próton	Coenzima	Coenzima	Fosfato	
Reação 1	13	12	2	3	2	2	2,184
Reação 2	12	12	2	3	2	2	2,016
Reação 3	11	12	2	3	2	2	1,848
Reação 4	10	12	2	2	1	2	1,200
Reação 5	9	12	2	2	1	2	1,080
Reação 6	8	12	2	2	1	2	960
Reação 7	7	12	2	3	0	1	504
Reação 8	6	12	2	4	0	1	576
Reação 9	5	12	2	4	0	1	480
Reação 10	4	12	2	4	0	1	384
Reação 11	3	12	2	3	0	1	216
Total							11,448

Anexo XV

Valor	Identificação
00	Em branco
01	Glicose
02	Glicose 6-Fosfato
03	Frutose 6-fosfato
04	Frutose 1,6-bis fosfato
05	Diidroxiacetona-fosfato
06	Gliceraldeído 3 Fosfato
07	1,3-Bis fosfoglicerato
08	3-Fosfoglicerato
09	2-Fosfoglicerato
10	Fosfoenolpiruvato
11	Piruvato
12	Lactato
13	ATP
14	ADP
15	NAD
16	NADH
17	Próton
18	Fosfato
19	Hexoquinase
20	Glicose fosfato isomerase
21	Fosfofrutoquinase
22	Aldolase
23	Triose fosfato isomerase
24	Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase
25	Fosfoglicerato quinase
26	Fosfoglicerato mutase
27	Enolase
28	Piruvato quinase
29	Lactato desidrogenase

Pistas:

- * As reações químicas envolvidas com nosso metabolismo funcionam sempre obedecendo dois princípios básicos: lógica e economia. Ou seja, o caminho correto é sempre o mais simples e o mais econômico, do ponto de vista de gasto de energia.
- * Atividade física de alta intensidade requer o fornecimento rápido de ATP para as fibras musculares envolvidas no movimento. Quanto mais rápido o músculo necessita de ATP, mais rápido tem que ser a produção e disponibilização, no entanto, a duração é curta, já que o organismo não consegue produzir muito ATP em tão curto período.
- * A glicólise anaeróbia é responsável por cerca de 80% do ATP produzido em atividades de até 3 minutos de duração.
- * A glicólise anaeróbia é a transformação da molécula de glicose (6 carbonos) em 2 moléculas de lactato (3 carbonos), com produção líquida de 2 ATPs no final do processo.
- * A glicólise anaeróbia envolve o funcionamento de 11 enzimas, das quais somente 3 participam de reações irreversíveis.
- * As reações de fosforilação da glicose e frutose-6-fosfato possuem $\Delta G > 0$
- * A molécula de frutose 1,6- bisfosfato (6 carbonos) é quebrada ao meio, formando dois compostos de 3 carbonos, que podem ser isomerizados. Somente um deles participa do restante da via glicolítica.
- * Duas enzimas da via catalisam reações de óxi-redução, sendo que o NAD^+ é a coenzima envolvida.
- * Durante a glicólise são gasto 2 ATPs e 2 fosfato inorgânicos (Pi).

Alguns Tipos de Enzimas

"Sobrenomes":

Quinases: São enzimas que catalisam a transferência de um grupo fosfato de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula aceptora.

Isomerases: São enzimas que catalisam reações de isomerização (troca de grupos químicos).

Mutases: São isomerases que catalisam a transferência de grupos fosfato de baixa energia de uma posição para outra, dentro da mesma molécula.

Desidrogenases: São enzimas que catalisam reações de óxido-redução, por transferência de hidrogênio do substrato para uma coenzima, geralmente NAD^+ ou FAD. Essas reações, na maioria dos casos são reversíveis.

Aldolases: São enzimas que cindem açúcares fosforilados, dando origem a diidroxiacetona-fosfato e a outro açúcar, com três átomos de carbono a menos que o substrato original.

Fosfatases: São enzimas que catalisam reações de hidrólise de ésteres de fosfato.

Enolase: Enzima que remove uma molécula de água.

Nomes:

- * O nome de cada enzima está relacionada à reação específica que a mesma catalisa muitas