

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

**Ensino de Engenharia sobre Bases Construtivistas: Um Estudo de Caso na
Disciplina de Laboratório de Sistemas Térmicos**

Autor: **Norton de Almeida**

Orientador: **Dirceu da Silva**

(2003)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

**Ensino de Engenharia sobre Bases Construtivistas: Um Estudo de Caso na
Disciplina de Laboratório de Sistemas Térmicos**

Autor: Norton de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Dirceu da Silva

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Norton de Almeida e aprovada pela
Comissão Julgadora.

Data:/...../2003

Assinaturas:

Orientador

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Caio G. Sanchez

Prof.Dr. Jomar Barros F^o

Prof^a. Dr^a Rosely P. Brenelli. ____

Prof. Dr. Sergio Ferreira do Amaral

2003

**Catálogo na Publicação elaborada pela biblioteca
da Faculdade de Educação/ UNI CAMP**

Bibliotecário: Gildenir Carolino Santos - CRB-8ª/5447

Almeida, Norton.

AL64e Ensino de engenharia sobre bases construtivistas : um estudo de caso
na disciplina de Laboratório de Sistemas Térmicos / Norton Almeida. –
Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador : Dirceu da Silva.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Educação.

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Ciências – Estudo e ensino. 3.
Construtivismo (Educação). 4. Laboratório. I. Silva, Dirceu. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação.
III. Título.

03-151-BFE

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dirceu da Silva, não só pela orientação e pelo apoio científico e metodológico, por sua paciência e perseverança, mas por ter sido, o tempo todo, mais do que tudo isso, um grande amigo.

À Prof^a. Dra. Rosely Palermo Brenneli, não só por ter me descortinado todo o mundo apaixonante das idéias de Piaget, mas também pelos seus inestimáveis apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Caio Glauco Sanchez, que não poupou esforços para que este trabalho fosse concluído com êxito.

Ao Prof. Dr. Jomar Barros F^o, por suas sugestões e críticas construtivas, meu muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Décio Pacheco (*in memoriam*), pelo muito que me ensinou.

Aos meus colegas da equipe de pesquisa, pelo muito que fizemos juntos.

Á Regina, pelo grande amor e paciência.
Aos meus filhos Ana Cristina, Flávio e Fernando, com muito amor.

Em nossa opinião, contudo, a expressão de um consenso construtivista continua sendo útil para por em relevo a convergência básica, no campo da didática das ciências (...) Uma convergência que apóia a idéia de avanço - não isento de controvérsias, como em qualquer campo científico - para a construção de um novo modelo de ensino-aprendizagem das ciências capaz de mudar o de simples transmissão-recepção de conhecimentos já elaborados e, em definitivo, para o avanço para a conformação da didática das ciências, como um novo campo de conhecimento.

(Gil Perez, D.; Carrascosa Alis, J.; Dumas-Carrée, A.; Furió Mas, C.; Gallego, R.; A. Gene Duch, A.; Gonzáles, E.; Guisasola, J.; Martinez-Torregrosa, J.; Pessoa de Carvalho, A. M.; Salinas, J.; Tricárico, H. e Valdés, P., 1999)

RESUMO

As demandas atuais para a formação do engenheiro incluem a necessidade de se rever as suas disciplinas, de maneira a introduzir novas metodologias.

O curso de engenharia até há pouco tempo buscava transmitir informações acabadas, pois o mercado de trabalho exigia um profissional mais estanque. Assim, as disciplinas experimentais, isto é, os laboratórios, primavam pelo ensino de experiências repetitivas, previamente planejadas de forma muitas vezes burocrática.

Por outro lado, hoje é exigido que o profissional tenha mais habilidades desenvolvidas do que propriamente apenas conhecimentos sólidos.

Neste sentido, buscamos desenvolver atividades diferenciadas, sob uma base construtivista, buscando a formação de um engenheiro mais crítico e mais habilitado a enfrentar novos desafios.

Neste trabalho apresentamos uma atividade, na disciplina de Laboratório de Sistemas Térmicos do curso de Engenharia Mecânica, para o ensino dos processos térmicos de um aquecedor a gás e fazemos considerações a seu respeito.

ABSTRACT

Today's needs for the formation of an engineer include the necessity of reevaluate their disciplines, to introduce new methodologies.

Until a little time ago, graduation in engineering tried to pass on unfinished informations, because work market needed a more tight professional. Thereby, experimental disciplines, that means, laboratories, were distinguished by teaching repetitive experiments, previously planned often on a very bureaucratic way.

On the other hand, today it is demanded from the professional to have more developed skills than just solid knowledge.

In this sense, we searched for developing different activities, under a constructivist basis, looking for the formation of a more critical engineer, more ready to face new challenges.

In this work we present an activity, inside the discipline of Laboratory of Thermic Systems, at the Graduation Course of Mechanical Engineering, to teach the thermic processes of a gas heater and we make some comments about it.

ÍNDICE

1.	Introdução.....	1
1.1	Novas Demandas da Profissão de Engenheiro.....	1
1.2	O Problema da Pesquisa.....	11
1.3	O objetivo deste trabalho.....	12
2.	Metodologia da Pesquisa: Pesquisa Qualitativa, Estudo de Caso	17
2.1	O que Entendemos Por Pesquisa Qualitativa.....	18
3.	A Busca de um Novo Modelo.....	21
3.1	O Que Entendemos por um Ensino com Bases Construtivistas.....	21
3.2	Situações-Problema.....	26
3.3	Nossa Proposta para o Ensino de Ciências.....	31
3.4	Nossa Proposta para o Ensino de Engenharia.....	34
3.5	Nossa Proposta para o Ensino de Disciplinas Experimentais.....	38
3.6	Concretizando Nossa Proposta.....	43
3.7	A Disciplina Oferecida.....	46
3.8	A Caracterização da Amostra.....	48
3.9	O Planejamento da Disciplina.....	49
3.9.1	O Formato Tradicional da Disciplina.....	49
3.9.2	O Formato Proposto Para a Disciplina	50
3.10	Como Foram Desenvolvidas as Atividades.....	52

4.	A Tomada de Dados.....	61
5.	Os Resultados Obtidos e sua Análise	87
5.1	Os Instrumentos Utilizados.....	87
5.2	Os Critérios de Avaliação.....	92
5.3	Os Resultados Obtidos.....	99
5.4	Conclusões e Comentários.....	104
6.	Bibliografia.....	113
Anexo 1.	Descrição Tradicional dos Experimentos.....	123
Anexo 2	O Formato Tradicional da Disciplina EM 959.....	197

1. INTRODUÇÃO:

1.1 Novas Demandas da Profissão de Engenheiro

Vivemos em uma sociedade baseada em tecnologias, equipamentos e necessidades muito diferentes daquelas que havia há alguns anos atrás. A sociedade atual apresenta novos produtos e serviços continuamente, em uma velocidade vertiginosa, sem que possamos, muitas vezes, nos aperceber das defasagens que estamos experimentando. Nesse contexto, formar um profissional técnico, que há cerca de vinte anos era uma questão mais ligada à quantidade de informações e conhecimentos acumulados, pois poder-se-ia permanecer trabalhando no mercado por algumas décadas com aquela formação da academia, exige hoje habilidades, conhecimentos e atitudes muito distintas.

Com efeito, existe um conjunto de documentos oficiais que afirmam que o profissional de engenharia, hoje, precisa ir além do mero conhecimento técnico, sendo capaz de aplicar estes conhecimentos de maneira crítica e criativa. Exemplos disso são as Diretrizes Curriculares dos Cursos de Engenharia:

(...) os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir um perfil profissional compreendendo uma sólida formação técnico científica e profissional geral que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística em atendimento às

demandas da sociedade. (...) (Brasil, Diretrizes Curriculares dos Cursos de Engenharia, 2002)

Dessa forma, as mesmas Diretrizes Curriculares prescrevem:

- Os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir competências e habilidades para:

- 1. aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;*
- 2. projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;*
- 3. conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;*
- 4. planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;*
- 5. identificar, formular e resolver problemas de engenharia;*
- 6. desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;*
- 7. supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;*
- 8. avaliar criticamente ordens de grandeza e significância de resultados numéricos;*
- 9. comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;*
- 10. atuar em equipes multidisciplinares;*
- 11. compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;*
- 12. avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;*
- 13. avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia.*

Da mesma maneira, o Fórum Nacional de Pró-Reitores de Graduação das Universidades Brasileiras (Forgrad - 1999) se manifestou na mesma linha, afirmando que:

O incremento das novas tecnologias, provocando intensas mutações profissionais, está a requerer uma crescente intelectualização e enriquecimento das atividades produtivas, demandando um aprendizado que envolva o manejo de informações e conhecimentos abstratos e a habilidade de lidar com grupos em atividades integradas.

Os cursos de graduação devem propiciar a oferta de referenciais teórico-básicos que possibilitem o trâmite em múltiplas direções, instrumentalizando o indivíduo para atuar de forma criativa em situações imprevisíveis.

A graduação não deve restringir-se à perspectiva de uma profissionalização estrita, especializada. Há que propiciar a aquisição de competências de longo prazo, o domínio de métodos analíticos, de múltiplos códigos e linguagens, enfim, uma qualificação intelectual de natureza suficientemente ampla e abstrata para constituir, por sua vez, base sólida para a aquisição contínua e eficiente de conhecimentos específicos.

Assim, a aquisição de conhecimentos deve ir além da aplicação imediata, impulsionando o sujeito, em sua dimensão individual e social, a criar e responder a desafios. Em vez de ser apenas o usuário, deve ser capaz de gerar e aperfeiçoar tecnologias. Torna-se necessário desenvolver a habilidade de aprender e recriar permanentemente, retomando o sentido de uma educação continuada.

Para atender a essa exigência, a graduação necessita deixar de ser apenas o espaço da transmissão e da aquisição de informações para transformar-se no locus de construção/produção do conhecimento, em que o aluno atue como sujeito da aprendizagem .(Forgrad, 1999)

O mesmo ForGrad continua, na mesma linha, em 2000:

O Projeto Pedagógico da Graduação deve estar sintonizado com nova visão de mundo, expressa nesse novo paradigma de sociedade e de educação, garantindo a formação global e crítica para os envolvidos no processo, como forma de capacitá-los para o exercício da cidadania, bem como sujeitos de transformação da realidade, com respostas para os grandes problemas contemporâneos. Assim, o Projeto Pedagógico, como instrumento de ação política, deve propiciar condições para que o cidadão, ao desenvolver suas atividades acadêmicas e profissionais, pautar-se na competência e na habilidade, na democracia, na cooperação, tendo a perspectiva da educação/formação em contínuo processo como estratégia essencial para o desempenho de suas atividades. (ForGRAD, 2000).

Estes documentos, oficiais, convergem em seu conteúdo. Pode-se extrair deles uma posição única, que pode ser abreviada em três pontos principais:

- Existem hoje muitas novas exigências para a profissão do engenheiro, devidas às novas demandas sociais e tecnológicas do mundo moderno;
- O ensino atual, com base num modelo de ensino-aprendizagem calcado na simples transmissão-recepção de conhecimentos, de maneira acrítica, não satisfaz essas exigências;

- Existe a necessidade, não satisfeita, de o processo de ensino-aprendizagem dos Cursos de Engenharia levar o engenheiro a enxergar os problemas de sua profissão de uma maneira mais crítica, mais atuante, mais participativa, e com uma maior visão social. Desta forma, o engenheiro poderia, e deveria, ser mais criativo, de modo a poder gerar e aperfeiçoar novas tecnologias.

Além desses documentos oficiais, a cada ano o Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (Cobenge) apresenta manifestações que também convergem com estas. Por exemplo, Brandão explica que:

(...) Para formar profissionais capazes de atuar com sucesso no mundo em constante mudança, procurando atualização e aperfeiçoamento contínuo, o professor deverá estar sintonizado com a rapidez dessa sociedade tecnológica e comprometer-se com o crescimento e a formação do aluno, precisando, portanto, de habilidades pedagógicas que a ajudem a compreender e organizar a lógica construída pelo aluno através de sua vivência no meio social (Brandão, 1996).

Já Gomes (1998), entende que:

(...) O professor (de engenharia) não apenas deve ter a consciência de seu papel junto aos seus alunos, oferecer a formação técnica, mas também contribuir com a sua experiência de vida profissional para uma formação global, uma visão de conjunto que reúna ações tecnológicas, políticas, éticas e humanas (Gomes, 1998)

Temos assim colocada a necessidade de realizar mudanças no ensino de engenharia, para que este seja capaz de formar um profissional com habilidades mais coerentes com as exigências apresentadas pelo mundo contemporâneo.

Um dos possíveis caminhos que tem sido apontado para que se consiga estes objetivos é através da mudança do modelo de ensino. Em geral, começa-se a questionar o modelo de ensino tradicional baseado na transmissão e recepção de conhecimentos já previamente elaborados. Assim, mesmo falando em linhas gerais, Ribas (1996) afirma que:

(...) O paradigma de ensino baseado no modelo transmissão-recepção de informações não é mais sustentável. É emergente que outro modelo – um novo padrão de pensamento – seja concebido e delineado para orientar as ações no processo ensino-aprendizagem (Ribas, 1996).

Estudos nessa linha buscam contribuições ao assunto. Por exemplo, Rowell, Gustafson e Gilbert (1997), ao estudarem como os engenheiros definiam um problema e procuravam soluções para o mesmo, constataram que eles reconheciam a importância de visualizar o problema dentro de seu contexto, assinalando suas implicações sociais, econômicas e ambientais além dos aspectos técnicos. No mesmo trabalho, é descrito como os engenheiros procuravam a solução para um problema. Argumentam que não existem soluções claras porém apenas aquelas construídas para satisfazer critérios que antes eles estabeleceram como ideais. Para chegar a essas soluções, afirmam a necessidade de fazer hipóteses, executar cálculos para estabelecer relações e testes para substanciá-los (Rowell *et al*, 1997).

Em contrapartida, mesmo nas disciplinas experimentais da maioria dos cursos de engenharia os alunos são solicitados a apenas resolver um conjunto de situações padronizadas. Por exemplo, em um trabalho anterior (Almeida, 1999), descrevemos e analisamos queixas e frustrações de professores que atuavam na disciplina “Laboratório de Sistemas Térmicos”, de uma Faculdade de Engenharia Mecânica da região de Campinas. Assim, constatamos que:

- Os alunos se frustravam devido a não haver oportunidade para variar as condições de operação do equipamento e ao pouco tempo existente para confeccionar o relatório;
- As atividades deste Laboratório não exigiam nenhuma participação mais criativa, nenhuma iniciativa por parte dos alunos, limitando-se a fornecer uma “ receita de bolo” para os alunos percorrerem;
- Muitos grupos de alunos acabavam por copiar de outros grupos os pré relatórios e até mesmo os relatórios. Existia até um *CD rom* gravado com um conjunto de pré-relatórios e relatórios que circulava entre as diversas turmas que fazem o laboratório;
- Não havia nenhum problema a se resolver, nenhuma hipótese colocada que exigisse testes para verificar a sua validade;
- A resposta que se esperava dos alunos era uma resposta única, fechada, considerada “correta”, sem margem para contribuições dos alunos;

Não era então de se estranhar que houvesse uma certa frustração dos alunos, que também se refletia no professor, o qual perdia o interesse em ministrar estas aulas.

Pequenas modificações haviam sido introduzidas ao longo dos 20 anos de existência do laboratório, porém a metodologia havia se mantido praticamente sem mudanças. Ou seja, um curso tradicional que exigia dos alunos uma série de procedimentos padronizados, cuja finalidade era a obtenção da “boa nota”.

Em outro estudo (feito na Inglaterra, em 1994, e publicado no *European Journal of Engineering Education*), Sacadura (1999) concluiu que não há correlação entre o êxito profissional e o nível das notas do histórico escolar, mas sim com uma série de fatores pessoais como: iniciativa, motivação, capacidade de comunicação, aptidão para o trabalho em equipe etc., de forma que as empresas entrevistadas recomendavam que fossem reforçados nos currículos aspectos relacionados ao desenvolvimento de certas capacidades como: gerenciamento, metodologia de solução de problemas e trabalho em equipe. Sacadura afirma ainda que, para as empresas, a formação de profissionais ligados à área tecnológica deve procurar desenvolver nos alunos essas três habilidades.

O ensino tradicional de Engenharia tem valorizado quase que exclusivamente a posse de sólidos conhecimentos científicos. Neste caso, vale lembrar que isso inclui o domínio de certa especialidade apenas em certo instante, para uma missão específica. No entanto, como essa especialização pode perder a atualidade em curto espaço de tempo, devido ao avanço tecnológico, são fundamentais as competências do técnico generalista e alguns fatores pessoais, que permitam uma boa integração no âmbito da empresa.

Por exemplo, a capacidade de observação e de entendimento da realidade. Estas capacidades são importantes para a adaptação num contexto evolutivo e competitivo, no qual as empresas estão imersas. Ou então a capacidade de conceitualização, de elaboração de modelos. Após a análise de uma situação real, busca-se construir um modelo representativo do problema, que seja fácil de explorar e comunicar, para retornar à situação real por intermédio de uma solução viável.

A busca dessas novas demandas implica em um novo olhar sobre o ensino, procurando superar a idéia de uma escola que ensina de forma reprodutora. Ou seja, busca-se uma função específica para uma escola transformadora que habilite a inserção na dinâmica da engenharia.

Poderíamos resumir que a importância do ensino de engenharia, conforme argumentamos acima, utilizando os autores supracitados, pode ser classificada em três pontos:

- Formação de indivíduos capazes de gerar conhecimento para superar os desafios de um projeto de desenvolvimento nacional sustentável.
- Construção da cidadania através da participação nas decisões da sociedade que não raras vezes passam por questões científicas e tecnológicas.
- Melhor entrosamento com as questões tecnológicas presentes na sociedade, de forma que levem à realização e à autonomia pessoal e/ou profissional e não a um processo de dominação e alienação presentes na incorporação acrítica de novas tecnologias.

Assim, uma vez colocado este cenário preocupante em que se encontra o ensino de engenharia, neste trabalho iremos elaborar, propor e avaliar um conjunto de atividades de ensino diferenciadas, como uma possível solução (mesmo que pontual) para os problemas destacados.

Deve-se deixar claro que iremos:

- intervir na disciplina “Laboratório de Sistemas Térmicos”, de um curso de Engenharia Mecânica;
- reestruturar essa disciplina, de modo a colocar para os alunos problemas mais próximos da realidade, fomentando assim a construção do conhecimento;
- atuar nela como, ao mesmo tempo, professor e pesquisador.

Especificamente, passaremos a seguir a descrever melhor o nosso problema de pesquisa e os objetivos do nosso trabalho.

1.2. O Problema da Pesquisa

Sendo esta pesquisa de natureza exploratória, a definição de um problema *strictu senso* não é de todo viável, na medida em que as possíveis hipóteses que poderiam orientar este estudo são muito pouco elucidativas, recaindo na trivialidade.

Mesmo assim, admitindo riscos de compreensão pelos leitores, arriscamos definir um problema segundo a seguinte redação:

Que resultados positivos um conjunto de atividades de sistemas térmicos e de fluidos, baseadas em pressupostos construtivistas, pode produzir em alunos de um curso de Engenharia Mecânica?

Entendemos por resultados positivos o cumprimento e a adequação das propostas apresentadas pelos especialistas que organizaram e propuseram as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia do Ministério da Educação (Brasil, 1999).

Neste sentido, tentaremos também neste trabalho buscar avaliar as possibilidades de enquadramento da disciplina em questão - EM 959, Laboratório de Sistemas Térmicos - com o documento anteriormente mencionado, na perspectiva de criar atividades coerentes que possam ter mais chances de ensinar conteúdos e habilidades adequadas à formação de um profissional mais crítico e

auto-suficiente, no que diz respeito a sua adaptabilidade às novas situações profissionais.

Como hipótese acreditamos que os alunos devem apresentar mudanças de posturas, já que sabemos, pelo acompanhamento de anos seguidos dessa disciplina, que pelas suas características, tais como de final de curso e de natureza experimental, os alunos apresentam certa antipatia e comportamentos da busca da mera nota para serem aprovados.

Também acreditamos que se pode conseguir fazê-los aproximarem-se do trabalho real a que um engenheiro é submetido quando de um problema presente no seu local de trabalho. Para melhores esclarecimentos, adiante no capítulo 3 apresentaremos as atividades e os pressupostos adotados.

1.3 O objetivo deste trabalho

Assim, uma vez caracterizado o problema que esta pesquisa tentará responder, para que possamos mostrar o que pretendemos atingir nesta pesquisa, iremos apresentar a seguir os objetivos específicos deste estudo, com algumas justificativas. Assim, esta pesquisa tem os seguintes objetivos:

Objetivo Geral:

Avaliar a aprendizagem quando da introdução de um conjunto de atividades estruturadas para a disciplina Laboratório de Sistemas Térmicos, do currículo regular do curso de Engenharia Mecânica;

Objetivos Específicos:

- Desenvolver atividades experimentais, próximas da realidade profissional do futuro engenheiro, pertinentes aos conteúdos da disciplina Laboratório de Processos Térmicos, do currículo regular do curso de Engenharia Mecânica;
- Desenvolver uma metodologia de ensino segundo pressupostos construtivistas para a disciplina em questão;
- Avaliar se os indivíduos melhoram suas habilidades profissionais de solução de problemas abertos (próximos da realidade profissional), e atitudes de participação e convivência colaborativa, frente às atividades supostamente mais dinâmicas e que exigem maior participação dos mesmos;
- Avaliar se os alunos desenvolvem habilidades sugeridas pelas diretrizes curriculares, propostas pela comissão de especialistas do Ministério da Educação (Brasil, 2002).

Esses objetivos foram delineados tomando por base a necessidade do desenvolvimento e da aplicação em uma disciplina regular do curso de Engenharia Mecânica, para que possamos superar as dificuldades apresentadas nas literaturas nacional e internacional específicas da área (Rompelman, 2000; Seat e Lord, 1999; Linsingen *et al.*, 1999; Bucciarelli *et al.*, 2000; Gomes, 1998; Brandão e Leite, 1996; Ribas e Vieira, 1996, entre outros, *apud* Almeida, 2002-a) como uma necessidade da busca de um modelo pedagógico diferente do tradicional transmissão-recepção de informações, para que os nossos alunos possam estar

preparados para os novos desafios que as mudanças tecnológicas têm demandado.

Por outro lado, constatamos que o ensino das disciplinas tecnológicas e técnicas, sobretudo as experimentais, tem sido tratado, em muitos casos, de forma semelhante ao daquelas científicas ou ainda, em outros, como sendo uma “Física ou Química do cotidiano” ou uma “Física ou Química aplicada”. Assim, equipamentos e dispositivos diferentes daqueles usados em laboratórios didáticos das Ciências naturais, são tratados nas aulas experimentais, com a mesma metodologia de ensino. (SILVA et al., 1999b).

Tal situação nos leva a questionar como podemos agir e desenvolver uma disciplina para que esta atenda as necessidades e demandas que acreditamos serem necessárias, não perdendo de vista as dificuldades que representam a materialização dessas competências e habilidades, que o documento citado (BRASIL, opus cit.).

Nesses sentido, buscando atender as demandas hoje impostas, partimos para a busca de propostas coerentes com as necessidades sugeridas, na tentativa de superarmos o modelo de ensino tradicional e construímos um conjunto de atividades diferenciadas, que primam pela aproximação das práticas de laboratório, como no nosso caso, às demandas existentes em organizações.

Assim, neste trabalho iremos apresentar uma dessas atividades, como exemplo e as bases usadas para a sua construção. Ao final mostraremos os resultados obtidos quando da sua aplicação na disciplina “Laboratório de Sistemas Térmicos” da Faculdade de Engenharia Mecânica.

Uma vez apresentados os nossos objetivos e algumas justificativas para a sua eleição, cabe passar à metodologia da pesquisa, de modo a caracterizar a forma como iremos proceder para atender a esses objetivos.

2. METODOLOGIA DA PESQUISA: PESQUISA QUALITATIVA, ESTUDO DE CASO.

Para realizar a coleta de dados necessários para obter respostas ao problema desta pesquisa e alcançarmos o objetivo deste trabalho, identificamos as metodologias que pudessem ser utilizadas.

Como trabalhamos com uma turma apenas de um curso de Engenharia Mecânica, e por esta ser pequena, acreditamos, previamente, que para a avaliação da aprendizagem de alunos e a análise de suas idéias e procedimentos, não implica em que se possa determinar todos os pontos do caminho percorridos por eles. Devemos nos ater ao maior número de fontes de dados possíveis de serem coletadas, para que possamos estar nas condições do estudo de caso.

Resta-nos, então, buscar obter o máximo de informações dos momentos em que a construção do conhecimento se mostra possível de ser observada, tentando encontrar nos dados recolhidos elementos que possibilitem estabelecer uma ligação compreensível entre os pontos que formam a complexa rede de pensamentos dos alunos.

Como este trabalho busca a avaliação da aprendizagem da disciplina citada, verificamos que a pesquisa qualitativa é a mais adequada, pois trabalhamos com uma turma de alunos, que devido ao fato da disciplina em questão ser do penúltimo semestre, o número de participantes é pequeno.

Também consideramos o estudo de caso como método que possibilitará a pesquisa.

Para isso, usamos várias fontes de dados durante as aulas que controlamos:

- Registros escritos pelos alunos (pré-projetos, relatórios, relatos etc).
- Diários de campo do professor e do monitor da disciplina
- Entrevistas com os alunos.
- Entrevistas com o professor e com o monitor da disciplina.

A abordagem qualitativa nos parece mais adequada ao nosso estudo, pois se pode com ela estudar problemas em maior profundidade e com mais detalhes (Patton,1990). Passemos então um olhar sobre o que significa, para nós, a pesquisa qualitativa.

2.1 O que Entendemos Por Pesquisa Qualitativa

Procuramos **compreender** as transformações que ocorrem em eventos de aprendizagem onde se tem por base os aspectos epistemológicos e históricos das teorias da Física que, segundo a epistemologia genética, caracterizam tais atividades.

Procuramos **explicar**, sob o ponto de vista cognitivo, as múltiplas internalizações que nosso aluno faz das referidas teorias da Engenharia. Não nos importa somente, como é o objetivo do professor, que o aluno entenda os conceitos em questão, mas como pesquisador, queremos saber qual é a natureza dessa aprendizagem em termos de seu universo de variáveis qualitativamente

observadas, para que então, de posse de uma teoria explicativa, o mesmo professor desempenhe melhor o seu papel de ensinar. Queremos entender em qual contexto os múltiplos aspectos que caracterizam a aprendizagem real em sala de aula decorrem das seqüências dos eventos de ensino adotadas pelo professor e qual a melhor forma de definir esses eventos em função da generalização das especificidades cognitivas observadas em um grupo experimental de alunos. Os dados obtidos serão descritos e interpretados mediante uma estratégia típica de triangulação, procurando-se evidências de regularidades, tendo como hipótese que as múltiplas variáveis com as quais estamos trabalhando, após devidamente analisadas, permitirão sistematizar e generalizar o processo envolvido com o ensino e aprendizagem em questão (Lucke e Andre, 1986 e Moreira, 1988).

O estudo de caso mostra-se necessário porque, não obstante buscarmos entender a trajetória cognitiva de conhecimentos socialmente construídos em sala de aula, essa construção é marcada e determinada, em proporções variadas, pelas ações individuais, podendo se modificar em função da alternância dos indivíduos envolvidos. Dessa forma, construir a ciência como paradigma, requer a aceitação das crenças admitidas como verdadeiras por cada um dos participantes do processo de aprendizagem. Por esse motivo é que concentramos a nossa atenção em cada um dos indivíduos de nosso estudo. Para Lucke e Andre (opus cit.), os estudos de caso têm uma tônica essencialmente qualitativa e resultam em vantagens, porque são apropriados às pequenas escalas e não restringem a

possibilidade de novos estudos a posteriori de aprofundamento ou de simples retomada.

No entanto a falta de "rigor" que a metodologia qualitativa pressupõe não se constitui em uma "camisa de força", muito pelo contrário, pode ser exatamente essa a grande vantagem do método, pois obtemos um conjunto de interpretações mais ricas, permitindo novas elaborações, novos problemas e novas possibilidades de aprofundamento.

Comparação interessante pode ser obtida em Morales e Moreno (1993), quando, após uma revisão bibliográfica de muitos trabalhos com enfoques qualitativo e quantitativo, apresentam uma síntese das diferenças mais marcantes encontradas nos dois tipos de linhas metodológicas. Assim, os trabalhos qualitativos são marcados por: ausência de manipulação de variáveis; pelo uso de procedimentos não padronizados, tais como entrevistas não sistematizadas ou coleta de dados em uma realidade; pelo envolvimento do investigador na pesquisa; pela abstenção de definição operacional de variáveis; pela não medição de variáveis ou pela medição em um grau mínimo; pelo não controle de variáveis estranhas ou pelo controle mínimo, e pela recusa na utilização de estatística.

3. A BUSCA DE UM NOVO MODELO

A busca de um novo modelo nos levou às colocações de Gil-Perez (1983 e 1993), que propõe um modelo baseado em atuação, por parte dos alunos, como se fora uma investigação científica. Neste modelo, os alunos devem agir em equipe, e ao professor fica reservado o papel de “diretor de pesquisas”. Gil-Perez, aliás, apresenta suas propostas como tendo forte embasamento construtivista.

Assim, antes de colocar a nossa proposta mais concretamente, vamos primeiro passar a algumas considerações sobre o que vem a ser um ensino designado construtivista.

3.1 O Que Entendemos por um ensino com bases Construtivistas

As investigações de Piaget e de seus colaboradores na busca de explicações sobre como que as crianças constroem as suas representações do mundo físico contribuíram muito para o construtivismo. Porém, hoje a palavra “construtivismo” deve ser vista com cautela. Por estar sendo usada amplamente em diferentes contextos, o seu significado tornou-se ambíguo e genérico, gerando muita confusão e controvérsia. Assim, embora o termo “construtivismo” esteja presente no discurso de filósofos, psicólogos e educadores, nem sempre assume o mesmo significado.

Castro (2001) se mostra preocupada com a generalização e a perda de exatidão da expressão “construtivismo”. Segundo ela, *no Brasil é conhecida a*

situação na qual se atribui o rótulo de construtivismo a qualquer atividade didática que se afaste do convencional (Castro,2001).

O termo construtivismo pode variar dependendo de quem e como o empregue (Wheatley, 1991; Silva, 1995; Gil Pérez et al, 1999-a).

Esta falta de clareza tem distorcido o significado deste conceito, a ponto de muitos professores afirmarem que são construtivistas, pois:

(...) eu explico os conhecimentos e os meus alunos os reconstróem em suas cabeças (...) (Gil Pérez et al, 1999-a e 1999-b).

Ou ainda, o cultivo de uma imagem demasiadamente fácil e estereotipada do que vem a ser um ensino de Ciências construtivista:

(...) para fazer um bom ensino de ciências basta levantar as pré-concepções dos alunos e gerar conflitos cognitivos, para mudar as suas concepções (...) (Gil Pérez et al, 1999-a e 1999-b).

Neste trabalho estamos entendendo por construtivismo, um conjunto de crenças sobre o conhecimento que busca explicar como acontece a aprendizagem. Assim, assumimos que a realidade existe mas não pode ser conhecida como um conjunto de verdades (Wheatley, 1991; Osborne, 1996). O conhecimento é o resultado de uma construção ativa a partir das noções, concepções ou conceitos que uma pessoa já possui e não podem ser simplesmente transferidos a ela de uma maneira passiva. O conhecimento existe apenas na mente das pessoas dentro da qual foi construído e, por esse motivo, ele não será encontrado, por exemplo, nos livros, textos, ou em outros repositórios tradicionais do conhecimento humano, os quais contêm apenas símbolos e representações, apresentando, assim, uma grande margem de interpretações.

(Glaserfeld apud Osborne, 1996). Desta forma, idéias e pensamentos não podem ser comunicados como se fossem um pacote fechado, pronto e acabado. Ou, nas palavras de Wheatley (1991):

(...) O conhecimento não é uma mercadoria que pode ser trocada (...) Não podemos colocar idéias nas cabeças dos estudantes, eles deverão construir as suas próprias idéias (Wheatley, 1991).

Cobern (1996), explica que no momento em que um aluno se defronta com um novo conhecimento científico ou tecnológico, ele constrói sua compreensão própria a respeito daqueles conceitos, baseado naquilo que ele conseguiu perceber do livro texto, das atividades de ensino, ou das explicações do professor. Da mesma forma que um cientista interpreta um experimento usando unicamente os conhecimentos que ele já possui, um estudante também aprende pela possível interpretação norteadas por sua personalidade, pelo seu embasamento cultural, ou seja, pelos conhecimentos que já possui. É por essa razão, que a simples memorização de conteúdos é rapidamente esquecida. Raramente ela é significativa pois não requer do estudante uma interpretação ativa.

Assim, assume-se que, para haver uma aprendizagem significativa, deve-se levar em consideração as idéias prévias (ou pré-concepções ou concepções espontâneas ou idéias intuitivas) dos estudantes (Driver, 1986, 1988 e 1989; White e Gunstone, 1989; Siqueira e Leite, 1991; Wheatley, 1991; Gil Pérez, 1993; Osborne, 1996; Nieda e Macedo, 1997; Silva et al, 1997).

As idéias alternativas de crianças, adolescentes e jovens são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema, bastante estáveis e resistentes a mudanças, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre

estudantes universitários. Realizadas em diferentes partes do mundo, as pesquisas mostram o mesmo padrão de idéias em relação a cada conceito investigado (Casonato, 1995; Longuini e Nardi, 2000).

Assim, os alunos trazem consigo, para a sala de aula, várias concepções muito bem estruturadas capazes de explicar muitos fenômenos que fazem parte do cotidiano de cada um deles. Essas concepções são diferentes das aceitas pela comunidade científica, pois são idéias de senso comum e constituem o repertório explicativo que os alunos possuem, no qual efetivamente acreditam e por esse motivo são resistentes às mudanças (Barros Filho, 1999).

Quando os alunos estão sujeitos a um ensino que acontece unicamente pela transmissão de conhecimentos já elaborados, ignorando as suas concepções espontâneas, estes aprenderão apenas alguns fragmentos daquilo que se pretendeu ensinar e não serão capazes nem de contemplar o todo desse conhecimento nem, tão pouco, estabelecer as relações entre as suas partes.

Um exemplo deste tipo de situação é mostrado nos trabalhos de Silva et al (1997) e em Silva e Barros Filho (2000). Nestes, os autores analisam o pensamento espontâneo de diversas pessoas, entre estas também as escolarizadas (físicos e engenheiros, por exemplo), e mostram o uso dos conceitos de calor e temperatura como sinônimos.

Portanto, buscando uma síntese, podemos afirmar que existem pelo menos duas características principais que parecem ser compartilhadas, pelos diversos autores citados acima, quando falamos de construtivismo:

- 1) A aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento.

2) As idéias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem.

Neste contexto, buscando um modelo alternativo para o ensino de Ciências, autores como Gil Pérez et al (1999-a e 1999-b), sustentam a idéia de que hoje existe um corpo de conhecimentos que integra de forma coerente os distintos aspectos relativos ao ensino e a aprendizagem destas disciplinas, formando um consenso nesta área. Entre essas idéias, destacamos:

1. A aprendizagem significativa dos conhecimentos científicos requer a participação dos estudantes na reconstrução dos conhecimentos que habitualmente são transmitidos de forma já elaborada.
2. Os estudantes desenvolvem melhor a sua compreensão conceitual e aprendem mais sobre a natureza das ciências quando participam de investigações científicas, tendo apoio e oportunidades suficientes para refletirem. Neste contexto, os alunos são concebidos como “pesquisadores novatos”, onde, trabalhando em equipes cooperativas, abordam situações-problema interagindo com as outras equipes e com o “resto da comunidade científica”, representada pelo professor e pelos textos.

3.2 Situações-Problema

Para isso, deve-se elaborar atividades de ensino coerentes capazes de permitir a implementação dessas idéias em sala de aula. Algumas diretrizes de como compor tais atividades são apresentadas por Wheatley (1991). Ele afirma que um bom problema é aquele que pode ser resolvido de várias maneiras por estudantes de diferentes níveis cognitivos e que, portanto, um conjunto de situações-problema deve ter as seguintes características:

- a) ser acessíveis a todos os alunos no começo;
- b) convidar os estudantes a tomarem decisões. Para isso, o problema precisa contemplar diferentes processos para obtenção de suas soluções;
- c) encorajar os estudantes a fazerem perguntas;
- d) encorajar os estudantes a usarem os seus próprios métodos;
- e) promover discussões e comunicações;
- f) ser prolongável, no sentido de que deve apresentar desdobramentos e possibilidade de continuidade.

A atividade apropriada é aquela que faz o estudante reestruturar os seus pensamentos e elaborar o que ele já havia aprendido. Nesse processo, os seus erros são uma rica fonte de informações, pois evidenciam como estão pensando.

Buscando uma estrutura geral de um curso de Ciências, Gil Pérez et al (1999-b) sugerem uma estratégia de ensino para uma aprendizagem como

investigação dirigida. A proposta se baseia em criar e propor para os alunos situações-problema.

Mas o que é uma situação-problema?

De acordo com Meirieu (1998), trata-se de um modelo de organização de ensino em que o interesse do aluno é mobilizado por um enigma, de tal forma que isto o coloca em uma situação de construção de conhecimentos. Assim, é proposta aos alunos uma tarefa cuja estrutura permita que todos os participantes efetuem as operações mentais requisitadas. Nela, respeita-se o raciocínio de cada aluno, mas sem renunciar aos objetivos comuns de instrumentação intelectual. Os resultados obtidos são avaliados em termos de aquisição pessoal, e se procura desvinculá-los das condições de aprendizagem. Em outras palavras, é uma metodologia em que se aprende como compreender o mundo, construindo-se a si mesmo enquanto se constrói o seu saber. Enfim, o aluno se constrói autônomo.

Então, uma pedagogia de situações-problema é aquela em que o educador assume a tarefa de inventar situações que impõem que o aluno se aproprie das soluções necessárias, ou seja, de forma que o aluno se veja obrigado a utilizar sua própria inteligência.

Mas não podemos nos esquecer que é muito mais fácil não aprender, recorrer a alguém que resolverá o problema por ele, buscar uma solução já pronta. E não podemos criticar esse procedimento que, em vários sentidos, é o motor de nossos progressos técnicos. Não estaríamos completamente paralisados se, em nosso dia a dia, sempre tivéssemos que aprender tudo, se não pudéssemos nos dirigir a especialistas que, estes sim, sabem? Acaso não utilizamos e trocamos objetos manufaturados, ignorando todas as aprendizagens que tornaram possível

sua elaboração? É por isso que não devemos atribuir à má vontade de nossos alunos o fato de tentarem sempre resolver um problema sem aprender. *Não devemos estranhar o fato de eles procurarem sistematicamente o “amigo que já sabe fazer”, o “relatório já pronto”.* No nosso caso, no ensino tradicional da Disciplina “Laboratório de Sistemas Térmicos” já havíamos constatado até a existência de um *CD-Rom* com os relatórios finais da Disciplina já prontos, oriundos de turmas anteriores. Então, segundo Meirieu, é *preciso, antes, questionar se a própria estrutura da situação pedagógica está bem adequada aos objetivos de aprendizagem desejados* (Meirieu, 1998).

O autor prossegue, identificando as partes de que se compõe a situação-problema. A estrutura deste é: propor aos alunos a realização de uma tarefa; essa tarefa só deve poder ser executada se for vencido um obstáculo, que constitui o verdadeiro objetivo do educador; deve haver um sistema de restrições que impeça o aluno de executar a tarefa sem enfrentar o obstáculo; deve haver um sistema de recursos que permita ao aluno vencer o obstáculo.

Para o educador, portanto, a primeira pergunta a ser feita é quanto ao objetivo que vai constituir o obstáculo a vencer e cuja superação representará um novo patamar alcançado no desenvolvimento cognitivo do aluno. Isto é importante também no que concerne à aprendizagem, uma vez que, na perspectiva construtivista, aprender significa provocar mudanças nos esquemas dos sujeitos. Estas se tornam possíveis numa proposta de ensino que parte de situações-problema, passíveis de provocar conflitos ou contradições, desequilibrando assim os esquemas cognitivos do sujeito que no momento são insuficientes para se alcançar o êxito na tarefa colocada. A busca de novos meios, mais eficientes,

resulta de processos reguladores (Piaget, 1976) que, corrigindo, permitem ao sujeito superar o desequilíbrio. Para Piaget (*ibid*), a fecundidade dos desequilíbrios é avaliada mediante a possibilidade do sujeito de ultrapassá-los.

Para os que pretendem ensinar por situações-problema, Meirieu resume a sua preparação em quatro passos:

1. Qual é o meu objetivo? O que quero fazer que o aluno adquira e que representa para ele um progresso importante?
2. Que tarefa posso propor que requeira, para ser realizada, a consecução desse objetivo? (comunicação, reconstituição, enigma, ajuste, resolução, etc.)
3. Que dispositivos devo instalar para que a atividade mental permita, na realização da tarefa, atingir o objetivo?
 - Que materiais, documentos, instrumentos devo reunir?
 - Que instruções devo dar para que os alunos utilizem os materiais de modo a cumprir a tarefa?
 - Que exigências devem ser introduzidas para impedir que os alunos evitem a aprendizagem?
4. Que atividades posso propor que permitam utilizar várias estratégias diferentes para se atingir o objetivo?

(...) Concebida desta forma, a situação-problema responde a três desafios que constituem o ofício de ensinar: eles têm uma “função erótica”, pelo fato de tentar suscitar o enigma que gera o desejo de saber; têm uma “função didática”,

pelo fato de preocupar-se em permitir a sua apropriação; e têm uma “função emancipadora”, pelo fato de permitir que cada pessoa elabore progressivamente seus procedimentos eficazes de resolução do problema (Meirieu, 1998). Três ótimas razões para a sua aplicação.

3.3 Nossa Proposta para o Ensino de Ciências

Assim, de acordo com Gil Pérez (1999-b), as atividades de ensino devem constar de:

a) Propor situações-problema que, tendo em conta as idéias, a visão de mundo, às habilidades e as atitudes dos alunos gerem interesse e proporcionem uma concepção preliminar da tarefa;

b) Propor aos estudantes o estudo qualitativo das situações-problema propostas e a tomada de decisões para resolver os problemas (oportunidade para que comecem a explicar funcionalmente as suas idéias) e começar a conceber um plano para o seu tratamento;

c) Orientar o tratamento científico do problema colocado, o que pode levar a:

c₁) Emissão de hipóteses, incluindo a invenção de conceitos, a elaboração de conceitos, onde as idéias prévias podem ser utilizadas para fazer previsões;

c₂) Elaboração de estratégias (incluindo a realização de experimentos) para contrastar as hipóteses a luz do corpo de conhecimentos de que se dispõe; e

c₃) Realização das estratégias e a análise dos resultados, considerando as predições das hipóteses, comparando-as com as obtidas por outros grupos de alunos, estudando a sua coerência como um corpo de conhecimentos. Isso pode converter-se em uma ocasião de conflito cognitivo entre distintas concepções e obrigar a conceber-se novas hipóteses;

d) Aplicar o novo conhecimento a uma variedade de situações para proporcionar um aprofundamento e enfatizar as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade que marcam o desenvolvimento científico. Todo esse tratamento pode mostrar que a Ciência tem um caráter de um corpo coerente de conhecimento.

e) Elaborar sínteses.

Se o problema estiver bem planejado, de forma a questionar as idéias nas quais realmente os alunos acreditam, a situação-problema poderá ser capaz de mobilizá-los afetivamente e desencadear a busca de soluções, gerando processos cognitivos responsáveis pela construção do conhecimento. É neste sentido que Gil Pérez lançou a idéia de estabelecer um programa de investigação, onde os alunos devem trabalhar em pequenos grupos colaborativos (Gil Pérez, 1993 e 1999-b). É o momento de discutir as idéias, buscar novas informações, tanto na bibliografia, quanto através da ajuda do professor, formular e finalmente, testar novas hipóteses.

À medida que os alunos formulam novas explicações para o problema, eles podem estabelecer novas relações entre os conceitos envolvidos na sua resolução, durante o processo de ensino e formular várias hipóteses. Cabe ao professor, buscar sistematizá-las visando aproximar-se cada vez mais do conhecimento científico. Assim, os estudantes podem acabar reorganizando o conhecimento em novos patamares mais elaborados, a partir das organizações que possuíam anteriormente.

Embora a resolução do problema possa ter feito com que a maioria dos estudantes tenha adotado uma nova explicação, mais próxima do modelo científico, essa ainda é muito frágil e, por esse motivo, precisa ser consolidada. Um caminho seria o professor apresentar aos alunos atividades que os levassem a aplicar as novas explicações recém construídas.

Por outro lado, apesar de diversas propostas estarem sendo apresentadas nos últimos anos para a formação dos Engenheiros, com um enfoque construtivista, nota-se que ainda que resta um esforço ou a busca de solução para tentar materializá-las em cursos e disciplinas.

3.4 Nossa Proposta para o Ensino de Engenharia

Silva (1999b) chega mais à sala de aula, concretizando para a Engenharia um pouco mais as colocações de Gil-Perez: (...) *Hoje são poucas as escolas de engenharia que estão conseguindo formar profissionais capazes de resolver problemas práticos que surgem em situações reais de trabalho* Silva (1999b).

A insatisfação com este tipo de ensino tradicional não é nova, tendo sido questionado por professores-engenheiro já no século passado. Estes propuseram que os futuros engenheiros deveriam vivenciar situações- problema mais próximas das que iriam encontrar em suas vidas profissionais.

Uma possível solução para este problema é encontrada em Gil Perez (1993). Este autor defende que muitos conteúdos poderiam ser ensinados estruturando um programa de investigação. Assim, as exposições do professores seriam usadas nos momentos que fosse necessário uma síntese dos conceitos envolvidos. Nesta visão, o professor passaria a ser um orientador de pesquisas, ao passo que os alunos seriam tratados como pesquisadores novatos. Essa idéia tem sido difundida e usada com grande êxito no ensino das disciplinas científicas, como a física e a química. Porém acreditamos que elas possam ser adaptadas ao ensino de várias disciplinas técnicas dos cursos de engenharia. Por exemplo, ao se ensinar o funcionamento de uma caldeira ou de um motor a combustão, ao invés de apenas dar as explicações teóricas e depois pedir para os alunos medirem alguns parâmetros destes equipamentos e elaborarem um relatório meramente burocrático, poderíamos estruturar o seu estudo em termos de um programa de investigação Silva (1999b).

Assim, o professor poderia propor questões sobre os princípios de funcionamento desses equipamentos, e sobre suas características tecnológicas, e simular defeitos que geralmente acontecem quando essas máquinas estão operando nas indústrias. Para resolver estes problemas os alunos, além de terem que saber previamente quais serão os cuidados que deverão tomar ao operarem com esses equipamentos, precisarão consultar referências bibliográficas sobre o seu funcionamento, os conceitos físicos envolvidos e as equações matemáticas que os descrevem.

É nessa investigação que os alunos se envolverão com os conteúdos. Estes deixaram de ser apenas teóricos, passando a ter uma finalidade prática: resolver um problema real. Nieda e Macedo (1997) afirmam que, nessas situações, os estudantes terão que trabalhar em pequenos grupos, propor e testar hipóteses, desenvolvendo os seus próprios métodos para solucionar as dificuldades encontradas (Silva, 1999b).

Segundo Gil-Pérez (1996), não é possível mudar o que professores e alunos fazem em sala de aula sem transformar sua epistemologia, suas concepções sobre como o conhecimento é construído, seus pontos de vista sobre ciência.

Deve-se, dentro dessa filosofia, rechaçar a figura do professor como mero transmissor de conhecimentos e atribuir-lhe uma tarefa importante no processo de ensino. A nova postura, revestida de uma prática dialética, deve ser capaz de estabelecer conexões entre o conhecimento que será objetivamente ensinado e as condições endógenas (internas ao sujeito) através da qual o aluno vai construir sua aprendizagem.

Nesse sentido cabe a explicitação sobre a questão da construção de conhecimentos, que pode ser resumida nos três princípios abaixo:

1- aprender é construir significado; não se lê a realidade como ela se apresenta;

2- compreender algo significa construir significados, pois os fragmentos isolados são esquecidos rapidamente e

3- tudo que se aprende depende dos conhecimentos que já se tinha antes (Resnick, apud Driver, 1986 e Gil Perez, 1993).

Em síntese, a estratégia de ensino que parece ser a mais consistente com a abordagem cognitiva construtivista e com as características do raciocínio científico é a organização do aprendizado como um tratamento de situações- problema que os alunos possam identificar como algo que valha a pena de se pensar a respeito. Ela (*a estratégia*) pode ser resumida como segue:

Conceber situações-problema que gerem interesse e proporcionem uma concepção preliminar da tarefa, levando em conta as idéias, a visão do mundo, as habilidades e as atitudes dos alunos.

Propor estudo qualitativo das situações-problema, tomando decisões (com a ajuda das pesquisas bibliográficas que forem necessárias) para definir e delimitar os problemas concretos, uma atividade durante a qual os alunos começam a explicitar suas idéias de uma maneira funcional.

Guiar o tratamento científico dos problemas, o que implica , entre outras coisas:

- Invenção de conceitos e formação de hipóteses (oportunidade para concepções alternativas para fazer previsões).(Gil Perez, 1996).
- Elaboração de estratégias possíveis para a resolução dos problemas, incluindo, quando apropriado, projetos experimentais para checar hipóteses sob a luz do corpo do conhecimento.
- Realização das estratégias elaboradas e análises de resultados (checando-os com aqueles obtidos por outros alunos e pela comunidade científica) que possam produzir conflitos cognitivos entre diferentes concepções (tomando todas elas como hipóteses) e possam requerer a formação de novas hipóteses.
- Propor a aplicação do novo conhecimento numa variedade de situações para aprofundá-las e consolidá-las, dando especial ênfase nas relações CTS, que emolduram o desenvolvimento científico, e levando todo este tratamento a mostrar a construção de um corpo coerente de conhecimento.
- Facilitar particularmente as *atividades sínteses* (esquemas, relatórios), a elaboração de *produtos*, que ajudam a dar um propósito à tarefa e a aumentar o interesse nela e a *concepção de novos problemas*. (*grifo do autor*) Gil Perez, 1996.

3.5 Nossa Proposta para o Ensino de Disciplinas Experimentais

Silva (1999b) procurou partir de uma distinção mais clara entre a Ciência e a Tecnologia, para só então buscar elencar as diferenças entre o ensino de ciência e a de tecnologia no laboratório:

Um dos aspectos mais relevantes são os relativos aos procedimentos usados na ciência e na tecnologia: enquanto a primeira busca a simplificação dos fenômenos, a segunda carrega em si a complexidade da necessidade de realizar algo.

Ou seja, os equipamentos usados nos cursos de Física podem ser construídos eliminando-se ou minimizando-se o efeito de algumas variáveis dos fenômenos. Ou ainda, mostrando certos aspectos que se queira enfatizar. Já os equipamentos tecnológicos têm uma característica marcante: por mais que sejam simplificados, ainda são dispositivos usados no cotidiano. Isso implica uma dificuldade para se controlar certas variáveis intervenientes. Por exemplo: quando se estuda a capacidade térmica dos corpos, pode-se conseguir calorímetros didáticos que tenham uma perda de calor minimizada. Ao contrário, quando em um curso de engenharia térmica se estuda um motor a explosão, tem-se um equipamento que possui todas as características daqueles usados em automóveis. Dessa forma, como no nosso caso, o motor é integral, por mais simples que seja.

Claro que podemos sempre fazer simplificações, mas estamos chamando a atenção aqui para uma característica essencial dos equipamentos: o limite de

simplificação para o caso da tecnologia é muito menor que para o caso das ciências.

Seria isto um problema de difícil solução?

Muito pelo contrário. (...) *Essa marca de não se poder simplificar, mais colabora a nosso favor, na intenção de formar técnicos mais críticos* (Silva, 1999b).

A partir daí, Silva propõe uma metodologia bem concreta para o ensino de tecnologia nas disciplinas experimentais.

Primeiro, o autor deixa claro que não concorda com os ensinamentos tradicionais de Física ou de Química ou de Engenharia, que ocorrem com roteiros preestabelecidos com todos os passos que os alunos devem seguir. Esta situação permite que poucos alunos consigam aprender. Na maioria das vezes, nos cursos de laboratório, alguns acabam por copiar relatórios ou realizar experimentos de forma “mecânica” sem reflexões acerca do que se pretendia ensinar.

Assim, Silva apresenta a sua proposta de ensino. Ele alerta que se deve superar a idéia de que basta ver para aprender. Todo professor mais atento sabe que nas situações de ensino mais tradicionais, no sentido dado acima, o laboratório passa a ser uma atividade enfadonha, que prima mais pelo “trabalho braçal” do que pelo aprendizado significativo. Alunos chegam a ser orientados pelos veteranos a ter posturas e sobre as formas de copiar relatórios para “cumprir a tabela”, como em um jogo onde se sabe de antemão os resultados.

Aqui, deve-se lembrar que o sujeito só apreende o que a sua estrutura cognitiva permite a ele inferir (Garcia, 1982 e Halbwachs, 1981). Como temos

sujeitos diferentes, teremos que usar de estratégias que permitam a superação da mera observação empírica.

Silva propõe, então, que os equipamentos e dispositivos devem conter possibilidades de serem desregulados, isto é, estes devem ser construídos com elementos variáveis que permitam ser ajustados segundo conveniências. No caso de um motor a combustão, pode-se, além das admissões de combustível e ar, introduzir, por exemplo, um parafuso com rosca fina nas câmaras de combustão para variar os seus volumes ou colocar elementos nas válvulas para que a entrada da mistura e a saída de gases sejam irregulares.

Mais ainda: criar um ambiente de investigação. Os experimentos devem ser iniciados por um questionamento que permita fazer os estudantes pensarem sobre o que é que se quer ensinar; sobre os fenômenos envolvidos e sobre formar alternativas de fazer a mesma coisa. Em uma concepção mais próxima da realidade, deve-se permitir que os estudantes possam ter acesso às informações sobre o tipo de tecnologia envolvida nos dispositivos e sobre os elementos da história do desenvolvimento dele. No caso do nosso motor a combustão, pode-se perguntar: Quais são as variáveis significativas para que o motor trabalhe com rendimento máximo? O que poderia ser feito para que ele fosse mais eficiente? Como seria um motor ideal? O que ele deveria atender?

Fomentar o trabalho em grupos cooperativos. Hoje, diferentemente do passado recente, não se desenvolvem novas tecnologias isoladamente. Há a necessidade de se trabalhar em equipes, de forma que um engenheiro deve saber inserir-se nesse contexto e permitir que todos possam vir a crescer. Os questionamentos propostos em 2 devem ser debatidos e discutidos pela equipe e

esta deve apresentar um conjunto de propostas e respostas para que sejam debatidas por todo o grupo classe. Só a partir disto que sugerimos iniciar propriamente dito a experimentação.

Criar uma perspectiva metacognitiva. Isto é, que os alunos possam vir a refletir sobre o que propuseram e sobre o que viram “na prática”. Não se pode perder o que foi discutido e debatido. Os alunos devem ser levados a criar um espírito questionador e crítico, em relação aos outros e em relação a si próprios.

Fazer do relatório um conjunto de sistematizações do processo. É mais importante o processo vivido do que os resultados (burocráticos) que um grupo de alunos pode apresentar. Refletir e sistematizar os processos permite que os alunos possam desenvolver seus próprios métodos de busca de soluções. Quando formamos alunos que podem vir a apresentar caminhos diferentes daqueles já trilhados, estamos criando hábitos de autonomia e de desenvolvimento de possibilidades novas. A construção de novas possibilidades distingue o nível dos profissionais e a qualidade das possíveis adaptações que estes irão fazer nos seus ambientes de trabalho.

Permitir que durante todo o processo os alunos possam formular hipóteses e testá-las. Há em muitas Universidades oficinas bem estruturadas que poderiam, entre outras coisas, auxiliar os alunos a construir novos equipamentos e a fazer mudanças estruturais nos que existem ou, ainda, agregar novos elementos a estes. Dessa forma, os laboratórios passam a ser muito mais dinâmicos nas suas concepções, além de estabelecer uma ponte imprescindível entre o conhecimento teórico da academia e os saberes e experiências dos técnicos que trabalham na

manutenção, estreitando as relações entre o conhecimento erudito e a experiência de vida daqueles.

Definir um conjunto de experimentos centrais e essenciais. Não se pode ensinar tudo o que pretendemos, Deve-se selecionar um conjunto de experiências mais significativas para que os alunos tenham maior contato com estas, dentro daquilo que estamos propondo. Teríamos um número menor de equipamentos, mas estaríamos garantindo um aprendizado mais intenso e significativo; quando se consegue desenvolver o espírito crítico, ganha-se na autonomia.

Discutir o relatório, buscando dar *feed-backs* aos alunos. Normalmente, finalizam-se as atividades com a devolução dos relatórios, apenas. Assim, não é permitido aos alunos saberem quais foram às qualidades e defeitos que estes instrumentos possuem. Os professores devem marcar um horário com os integrantes de um grupo para fazer comentários sobre o processo ocorrido. Além de caracterizar a seriedade do processo, pode-se ainda debater outros aspectos que nunca são explicitados, tais como o que se esperava deles e o que foi realizado.

3.6 Concretizando Nossa Proposta

Assim, estamos propondo nesta pesquisa o desenvolvimento e avaliação do ensino de uma disciplina de um curso de Engenharia Mecânica, buscando testar um conjunto de pressupostos, a saber:

- A necessidade de superação de uma mera sistemática repetitiva, presente nos manuais e roteiros de disciplinas experimentais, através de uma fundamentação construtivista;
- Criação de condições para a geração de atividades problematizadoras para motivar e estimular a participação dos alunos;
- Desenvolvimento de atividades mais próximas da realidade profissional dos engenheiros;
- Busca de uma formação de profissionais mais reflexivos e críticos;
- Criação de condições para estimular o trabalho em grupo e a interação / associação de alunos na busca de soluções de problemas.

Para testar estes pressupostos, foi escolhida a disciplina de “Laboratório de Sistemas Térmicos, do 5º ano da Faculdade de Engenharia Mecânica de uma Universidade pública da região de Campinas. A disciplina em questão foi escolhida por nós porque representa uma preocupação direta, pois um dos membros do nosso Grupo de Pesquisa é responsável por ela há muitos anos. Esta

disciplina também tem aspectos peculiares: é uma disciplina experimental e é ministrada para alunos do último semestre”.

O objetivo era colocar situações-problema para os alunos, na tentativa de estimulá-los a superar estes problemas com reflexão crítica e criatividade, trabalhando em grupo e buscando subsídios em fontes como a literatura, a informática, os manuais de operação dos equipamentos, etc.

Mais que isso, seria preciso dizer que o objetivo do curso não foi introduzir conceitos novos, nem mesmo modificar eventuais concepções espontâneas.

O objetivo foi, sim, ensinar aos alunos como utilizar seus conceitos teóricos na prática. Enfim, melhorar suas habilidades e atitudes.

É assim que a eficácia da disciplina deve ser avaliada.

Para isso, seria necessário coletar o maior número possível de fontes de dados, para que se pudesse efetuar um completo estudo de caso. Com este material em mãos, aí sim poderíamos comparar os resultados obtidos com a aplicação desta nova metodologia à disciplina em questão com os objetivos específicos a que nos propusemos, já mostrados anteriormente. Estes objetivos específicos, vale lembrar, são quatro:

- Desenvolver atividades experimentais, próximas da realidade profissional do futuro engenheiro, pertinentes aos conteúdos da disciplina Laboratório de Processos Térmicos, do currículo regular do curso de Engenharia Mecânica;
- Desenvolver uma metodologia de ensino segundo pressupostos construtivistas para a disciplina em questão;

- Avaliar se os indivíduos melhoram suas habilidades profissionais de solução de problemas abertos (próximos da realidade profissional), e atitudes de participação e convivência colaborativa, frente às atividades supostamente mais dinâmicas e que exigem maior participação dos mesmos;
- Avaliar se os alunos desenvolvem habilidades sugeridas pelas diretrizes curriculares, propostas pela comissão de especialistas do Ministério da Educação (Brasil, 2002).

Analisar os resultados obtidos, portanto, seria para nós avaliar o quanto nós havíamos atingido estes objetivos. Isso seria conseguido, conforme discutido no parágrafo 2.1, fazendo-se uma triangulação com os dados obtidos e buscando-se as evidências de regularidades, tendo como hipótese às múltiplas variáveis com que estamos trabalhando.

3.7 A Disciplina Oferecida

As atividades foram desenvolvidas na disciplina citada acima, chamada EM 959 – Laboratório de Sistemas Térmicos, do currículo de um curso de Engenharia Mecânica, de uma Universidade pública da região de Campinas. Trata-se de uma disciplina de ensino exclusivamente de prática laboratorial. A disciplina é oferecida no 10º (e último) semestre do curso. No Catálogo de Cursos de Graduação, desta Universidade, ela aparece, laconicamente, como:

- EM 959 - Laboratório de Sistemas Térmicos

Oferecimento: semestre 1

Aulas teóricas: 0

Aulas práticas: 3

Aulas totais: 3

Créditos: 3

Pré-requisitos: EM 413, EM 633 e EM 746

Ementa: experimentos em Sistemas Térmicos.

Obs: EM 413 = Termodinâmica II; EM 633 = Transferência de Calor II; EM 746 = Instrumentação

A disciplina consiste, basicamente, no estudo de 6 (seis) experimentos práticos, cada um correspondendo a um sistema térmico diferente:

Caldeira

Jato

Trocador de calor de tubo duplo

Aquecedor de água a gás

Calorímetro

Ar condicionado

As bancadas para esses experimentos já existiam, em um Laboratório próprio, da Faculdade de Engenharia Mecânica, chamado Laboratório de Sistemas Térmicos, cujo objetivo principal é justamente o ensino desta disciplina.

3.8 A Caracterização da Amostra

Caracterizada a metodologia a ser adotada, e a disciplina a ser oferecida, passamos agora para a caracterização da amostra. Os alunos, em número de 8 (oito), eram do 5º ano (o último) de Engenharia Mecânica, na especialidade de Engenharia Térmica e de Fluidos.

Como estavam no último ano de seu curso, já haviam tido as disciplinas teóricas necessárias para acompanhar as atividades deste Laboratório: Termodinâmica, Transferência de Calor, Mecânica dos Fluidos e Sistemas Térmicos.

Não haviam tido, em seus cinco anos de curso de Engenharia Mecânica, nenhuma disciplina ensinada que se parecesse em nada com esta (metodologia construtivista). Pelo contrário: grosso modo, todas as disciplinas que haviam tido até então foram ensinadas segundo um modelo tradicional, expositivo, com roteiros preestabelecidos, com todos os passos que os alunos devem seguir.

Eram basicamente alunos de classe média e/ou média-alta, com idades variando entre 22 e 23 anos.

Estes alunos estavam para concluir o curso, envolvidos com estágios e com sua colocação no mercado de trabalho ou ainda, em menor número, inseridos em grupos de pesquisa da própria Universidade. Por isso, não tinham muito tempo para se dedicar às disciplinas do 5º ano. Por outro lado, também não podiam se dar ao luxo de ficar com uma dependência àquela altura do curso, com todos aqueles compromissos assumidos.

3.9 O Planejamento da Disciplina

Definido isso, passamos então a elaborar a estrutura das atividades de ensino. O primeiro passo foi, evidentemente, colocar um olhar sobre o planejamento tradicional, existente até a época.

3.9.1 O Formato Tradicional da Disciplina “Laboratório de Sistemas Térmicos”

No ensino da disciplina era proposto que os alunos desenvolvessem atividades práticas sobre equipamentos industriais (ou modelos muito próximo dos industriais) da área de Termodinâmica e Transferência de Calor. Era uma disciplina totalmente composta de células práticas, ministradas após a conclusão de todas as disciplinas teóricas. Existia havia 20 anos, com praticamente os mesmos equipamentos. A disciplina gerava uma expectativa muito grande aos alunos pois praticamente era o único momento do curso em que eles se deparavam com equipamentos reais.

Para as atividades os alunos eram divididos em grupos de 5 integrantes, realizando uma experiência por aula (3 horas aula). A atividade era montada do seguinte modo:

Os alunos recebiam um texto que continha a descrição do equipamento, um equacionamento básico, e quesitos sobre o que eles deveriam responder junto a um relatório, na semana subsequente ao término do experimento. Havia também um roteiro de *start* (funcionamento de partida) do equipamento.

O grupo deveria apresentar antes do início do experimento um roteiro (pré relatório), contendo: equacionamento teórico detalhado que levasse à resposta dos quesitos solicitados: um roteiro experimental contendo as variáveis a serem medidas e uma avaliação qualitativa da resposta que se esperava.

Na aula do experimento em questão o técnico ou professor ensinava passo a passo a ligar e operar o equipamento.

Os alunos executavam aquele roteiro experimental sugerido por eles (porém que havia sido verificado e autorizado pelo professor) e colhiam os dados experimentais.

Como tarefa de casa eles faziam um relatório final, respondendo aos quesitos. Ou seja, um ensino que acontecia unicamente pela transmissão de conhecimentos já elaborados, ignorando as concepções espontâneas dos alunos.

3.7.2 O Formato Proposto Para a Disciplina

Propusemos então um ensino diferenciado, montado de forma sucinta no formato de um quadro (Silva e Barros Filho, 1997-a), (ver Quadro de Planejamento das Atividades), onde abrimos vários campos que explicitam: quais os momentos e quais são as atividades que o professor irá propor; quais são os objetivos pedagógicos de cada atividade e quais serão os instrumentos de avaliação utilizados e em que momentos serão usados.

Propusemos um conjunto de atividades com metodologias diferenciadas para a disciplina Laboratório de Térmica e Fluidos, do currículo de Engenharia

Mecânica, onde partimos de problemas que buscam espelhar a realidade dos possíveis problemas que ocorrem no cotidiano da profissão.

Nessas atividades, os alunos são convidados a propor soluções e testá-las nos dispositivos e bancadas laboratoriais. As soluções são apresentadas e discutidas, com vistas a buscar-se adaptar o trabalho, antes burocrático, a uma situação dinâmica que contempla também o insucesso da experiência e suas possíveis causas.

3.10 Como Foram Desenvolvidas as Atividades

Foram propostas aos alunos situações-problema, de acordo com a primeira das proposições de Gil Pérez, et al, 1999-b: *propor situações-problema que, tendo em conta as idéias, a visão de mundo, as habilidades e as atitudes dos alunos, gerem interesse e proporcionem uma concepção preliminar da tarefa*. Estas situações-problema procuravam se assemelhar ao máximo às situações encontradas pelo engenheiro no seu dia-a-dia de trabalho.

Foram fornecidas literaturas a respeito e instruções sobre as máquinas/equipamentos que estivessem envolvidos. Não foi ensinado, evidentemente, como resolver o problema, mas se procurou estimular os alunos a construir suas próprias soluções.

Por exemplo, a atividade Caldeira. Foi exposta aos alunos a seguinte situação-problema:

Você é o engenheiro de uma indústria, responsável pelo Depto. de Utilidades, e é comunicado pelo Depto. de Contabilidade que a sua caldeira está consumindo combustível demais. Será esse aumento devido a problemas na caldeira ou apenas a um aumento de produção da indústria?

Em seguida, a caldeira em questão era apresentada aos alunos. Foram então fornecidas a eles explicações sobre como operar a caldeira e cuidados com a sua segurança. Por exemplo: durante a operação de uma caldeira, a chama no seu interior pode se apagar, por algum contratempo. Quando isso acontece, é preciso tomar muito cuidado para reacendê-la, porque pode ter restado algum

combustível não-queimado dentro dela. Este resto de combustível, no interior de uma caldeira quente, pode se evaporar. Assim, quando for dada a faísca novamente, todo o vapor de combustível ali formado pode se incendiar ao mesmo tempo, causando uma explosão. Cuidados como esse foram meticulosamente passados aos alunos, como não poderia deixar de ser.

Foi então solicitado aos alunos que fizessem uma primeira proposta (individual) sobre como resolver o problema. Já nessa etapa eles podiam consultar a literatura a respeito, ou solicitar informações sobre a caldeira. O objetivo era fazer com que os alunos explicitassem as suas idéias prévias (concepções espontâneas) sobre como resolver o problema.

Depois, os alunos se reuniam em dois grupos de quatro, e faziam a mesma coisa, mas em grupo. Faziam, então, o seu Plano de Trabalho. O objetivo era promover uma troca de idéias entre os alunos, buscando solução comum.

Se fosse o caso (e certamente o era), os alunos podiam operar a caldeira, para testar as suas hipóteses e obter dados reais sobre o seu desempenho.

Em seguida, era solicitado aos alunos que apresentassem uma primeira solução para o problema, agora com os primeiros dados reais obtidos.

O professor avaliava rapidamente o resultado apresentado pelo grupo, a fim de dar a este um *feed-back*. Os alunos debatiam com o Professor. O objetivo era verificar se era necessário redirecionar o trabalho dos grupos.

O professor então solicitava ao grupo que fizesse um memorial de cálculo para entregar. O objetivo aqui era fazer com que os alunos desenvolvessem a

habilidade de apresentar uma resposta para o problema em linguagem técnica, de engenheiro.

Era solicitado ao grupo que refizesse o experimento e comparasse os novos resultados com os anteriores. Nesse ponto, o objetivo era minimizar a possibilidade de erros.

O professor então solicitava que os alunos discutissem a solução no grupo, apresentando-a por escrito. Aqui, o objetivo era que o grupo encontrasse uma solução final.

O professor, agora, solicitava a cada grupo de alunos a elaboração de uma carta ao Depto. Contabilidade, informando a natureza do problema e possíveis soluções. O motivo era desenvolver nos alunos a habilidade de apresentar soluções técnicas, de problemas de engenharia, numa linguagem não-técnica.

A seguir o quadro 1 (conforme Silva e Barros Filho, 1997-a, chamado de Quadro de Planejamento das Atividades, onde foram abertos vários campos que explicitam: quais os momentos e quais são as atividades que o professor irá propor; quais são os objetivos pedagógicos de cada atividade e quais serão os instrumentos de avaliação utilizados e em que momentos serão usados).

Este quadro busca resumir os principais procedimentos descritos acima:

Professor / Aluno	Objetivo	Avaliação
Prof. propõe a situação-problema para ser resolvida individualmente. Solicita que os alunos dêem uma solução individual inicial ao problema	Fazer com que os alunos explicitem as suas idéias prévias sobre como resolver o problema.	Prof. recolhe os Roteiros Individuais.
Prof. solicita que os alunos de cada grupo de trabalho dêem uma solução ao problema. Os alunos se reúnem em grupo para discutir e tentar solucionar o problema. Fazem um <u>Roteiro do Grupo</u>	Troca de idéias entre os alunos. Buscar solução comum.	Prof. recolhe o Roteiro do Grupo.
O Prof. solicita que o grupo opere a caldeira, testando as suas hipóteses conforme o Plano de Trabalho. Solicita que o grupo apresente uma primeira solução com as medidas feitas.	Testar a solução proposta e recolher dados.	Prof. recolhe uma cópia da Folha de Dados obtida e uma Primeira Solução do Grupo para o problema.
Prof. avalia rapidamente o resultado	Verificar se é necessário redirecionar o	

apresentado pelo grupo afim de dar um <i>feed-back</i> ao grupo. Os alunos debatem com o Professor.	trabalho dos grupos.	*****
Prof. solicita que o grupo faça um pré-memorial de cálculo para entregar.	Fazer com que o aluno desenvolva a habilidade de apresentar uma resposta para o problema em linguagem técnica, de engenheiro.	Prof. recolhe o Pré-Memorial de Cálculo.
Prof. solicita que o grupo refaça o experimento e compare os novos resultados com os anteriores.	Minimizar a possibilidade de erros.	Prof. recolhe o novo Memorial de Cálculo.
Prof. solicita que os alunos discutam a solução no grupo apresentando-a por escrito.	Encontrar uma solução final para o grupo.	Prof. recolhe a Solução Final do Grupo.
Prof. solicita a elaboração de uma carta ao Depto. Contabilidade, informando a natureza do problema e possíveis soluções.	Desenvolver no aluno a habilidade de apresentar soluções técnicas numa linguagem não-técnica.	Prof. recolhe a Carta.

Quadro 1: O Planejamento das Atividades

Atividades como esta, da Caldeira, havia outras cinco: Jato, Trocador de Calor, Aquecedor de água a gás, Calorímetro, e Ar Condicionado (ver quadro 2, abaixo).

No primeiro dia, foi feita uma primeira reunião com os alunos, para apresentação da disciplina. Como havia 8 (oito) alunos, eles foram divididos (aleatoriamente) em dois grupos:

Grupo 1: Chamaremos os alunos de A1, A2, A3, e A4 (este grupo foi acompanhado pelo Professor Responsável pela disciplina)

Grupo 2: A5, A6, A7, e A8 (acompanhado pelo Professor auxiliar)

As experiências foram numeradas como segue:

Exp. No	Equipamento	Situação-problema
1	Caldeira	Você é o engenheiro de uma indústria, responsável pelo Depto. de Utilidades, e é comunicado pelo Depto. de Contabilidade que a sua Caldeira está consumindo combustível demais. Será esse aumento devido a problemas na Caldeira ou apenas a um aumento de produção da indústria?
2	Jato	O Depto de Marketing da Embraer se mostra interessado em substituir os jatos “tradicionais” por um novo jato, apresentado pelo fornecedor, que apresenta diferenças no princípio de funcionamento. Solicita portanto ao Depto de Desenvolvimento que analise a questão e responda sobre a viabilidade técnica. Dados do problema: Velocidade de cruzeiro da aeronave: 15 m/s

		Empuxo requerido: 1,5 N líquido Empuxo declarado pelo fabricante do jato: 8 N Consumo específico requerido: 25 kg / h. N Consumo específico declarado: 5 kg / h. N
3	Trocador de calor de tubo duplo	Uma indústria precisa de um trocador de calor para um certo processo. Seus engenheiros recebem um quadro com os parâmetros com que tal trocador precisa funcionar. O trocador foi então encomendado a um fabricante. Quando pronto, o trocador foi instalado, mas a indústria reclamou que não funcionou conforme o desejado. Os engenheiros da indústria dizem que o trocador foi mal fabricado, enquanto os engenheiros do fabricante alegam que os dados fornecidos originalmente é que não eram realistas. Você, que trabalha em uma empresa de consultoria, é chamado para arbitrar a questão. Além disso, você deve propor soluções tanto para a indústria quanto para o fabricante. Dados do problema: Especificações do processo da indústria: Vazão do fluido quente: 0,06 l/s Vazão do fluido frio: 0,15 l/s Temp. entrada do fluido quente: 47 °C Temp. saída do fluido quente: 42 °C Temp. entrada do fluido frio: 30 °C Relatório do fabricante do trocador:

		Temp. saída do fluido frio: 32 °C $U = 3180 \text{ w / } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2$
4	Aquecedor de água a gás	Você é um engenheiro consultor, e é contratado por uma academia de ginástica. O objetivo é auxiliar a decidir entre chuveiros elétricos e aquecedores a gás de passagem nos banheiros da academia. Dados do problema: Vazão de água para um banho: 0,05 l/s Temperatura da água de um banho; 36 °C Duração média de um banho: 20 min. Eficiência do chuveiro elétrico: 98% Preço do gás: R\$ 1,54 / kg Preço da energia elétrica: R\$ 0,22 / kwh Obs: No chuveiro elétrico, toda a água é consumida por um só cliente No chuveiro a gás, pode-se misturar a água quente com água fria e além disso pode-se fornecer água para dois ou mais banhos simultaneamente.
5	Calorímetro	A indústria em que você trabalha recebeu um novo combustível e precisa conferir o seu PCI. A indústria dispõe de um calorímetro, mas comenta-se que ele tem muitas perdas. Você não dispõe de normas técnicas a respeito. Desenvolva uma metodologia para utilizar o calorímetro que garanta minimizar as perdas e meça o PCI (poder calorífico inferior) do

		combustível..
6	Ar condicionado	Para climatizar um escritório de advocacia, existem três propostas de fabricantes de aparelhos, com preços e capacidades nominais semelhantes entre si. Você deve produzir um laudo definindo qual a melhor opção.

Quadro 2: Os Experimentos Realizados

4. A TOMADA DE DADOS

Os dois grupos de 4 alunos cada fizeram seus seis experimentos de acordo com o cronograma abaixo. Para cada equipamento, cada grupo fazia o seu experimento em dois dias, com 3 horas de laboratório por dia:

Dia	Grupo 1	Grupo 2
07/08/01	Apresentação	
14/08/01	Caldeira	Calorímetro
21/08/01	Caldeira	Calorímetro
28/08/01	Calorímetro	Trocador de calor de tubo duplo
04/09/01	Calorímetro	Trocador de calor de tubo duplo
11/09/01	Não houve aula (luto)	
18/09/01	Trocador de calor de tubo duplo	Caldeira
25/09/01	Trocador de calor de tubo duplo ³	Caldeira
02/10/01	Avaliação geral	
09/10/01	Recesso	
16/10/01	Aquecedor de água a gás	Ar Condicionado
23/10/01	Aquecedor de	Ar Condicionado

	água a gás	
30/10/01	Ar Condicionado	Jato
06/11/01	Ar Condicionado	Jato
13/11/01	Jato	Aquecedor de água a gás
20/11/01	Jato	Aquecedor de água a gás
27/11/01	Reposição	
04/12/01	Avaliação geral	

Quadro 3 – O Cronograma das Atividades

A seguir, uma descrição das atividades, dia a dia:

4.1 Início do Curso: Reunião Introdutória

O Professor Responsável apresentou o pessoal docente. Além dele, a disciplina iria ser acompanhado por:

- Um doutorando em Engenharia, orientado pelo Professor Responsável, aqui chamado de Professor auxiliar.
- Um doutorando em Educação, apresentado como um engenheiro experiente da indústria, que iria acompanhar toda a disciplina e dar apoio técnico.
- Um técnico de laboratório, que também iria acompanhar toda a disciplina, cuidando do equipamento e da segurança pessoal e do material.

Depois disso, o Professor Responsável apresentou um texto apresentando tecnicamente os experimentos que seriam desenvolvidos ao longo da disciplina em questão, EM 959 (anexo 3), que foi distribuído aos alunos.

Até aqui, nenhum dos alunos tinha se manifestado.

Em seguida, o Professor Responsável colocou resumidamente a metodologia a ser adotada: os alunos iriam trabalhar em equipe, como se estivessem numa indústria, e teriam que resolver problemas relacionados a cada um dos equipamentos, problemas esses muito semelhantes aos que eles iriam enfrentar nas indústrias.

A idéia aqui era ir de encontro aos Parâmetros Curriculares Nacionais para a Graduação em Cursos de Engenharia, que cita, entre outros, os seguintes objetivos a perseguir:

- Os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir competências e habilidades para:

(...) Aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;

Projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;

Avaliar criticamente ordens de grandeza e significância de resultados numéricos;

Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;

atuar em equipes multidisciplinares;

Identificar, formular e resolver problemas de engenharia (...).

(MEC, Diretrizes Curriculares da Graduação dos Cursos de Engenharia, 2002)

Os alunos procuravam disfarçar, mas era claro para nós que, para eles, esta disciplina era apenas para “cumprir tabela”, ou seja, não havia muito o que esperar dela nem da participação dos alunos nela. Afirmamos isso porque, naquele momento,

percebemos “no ar” uma impressão de enfado. Uma expressão de quem “já sabe tudo a respeito”. Mesmo propondo um ensino onde eles seriam momentaneamente equiparados à condição de engenheiros, pois iriam tentar solucionar problemas próximos dos que ocorrem nas indústrias, os alunos não faziam perguntas, mantendo um pesado silêncio e mostrando falta de interesse. Explicamos tais procedimentos na medida em que eles eram alunos do último semestre do curso de Engenharia Mecânica, muitos (ou todos) já estavam fazendo estágios em empresas da região, ou engajados em programas de pesquisa na própria Faculdade de Engenharia Mecânica. Além do mais, eles já tinham assistido a todas as disciplinas teóricas do curso, e a muitas experimentais, e principalmente às disciplinas teóricas sobre aquele assunto em particular (sistema térmicos), todas tradicionais.

Por outro lado, nós sabíamos que aqueles alunos eram “macacos velhos”, no sentido de que não iriam se descuidar de modo a ficar em dependência naquela ou em qualquer outra disciplina, bem no último semestre do curso. Eles estavam, naturalmente, dispostos a acompanhar e/ou, se possível, controlar as suas notas cuidadosamente. Afinal, era assim em todas as outras disciplinas do seu curso.

Mesmo assim nós, como professores e pesquisadores, éramos tentados a supor que havia alguma curiosidade, mais em alguns alunos que em outros, por aquela disciplina, que se apresentava de maneira bem diferente das outras. Por exemplo, um engenheiro de indústria acompanhando? Todos os relatórios finais feitos em equipe?

O Professor Responsável disse que era muito importante que os alunos não faltassem, devido à metodologia a ser adotada, e que a média mínima para aprovação

seria 5 (cinco). Durante o desenvolver de toda a disciplina os alunos não souberam, mas nunca aluno algum foi reprovado nela.

O Professor Responsável prosseguiu colocando aos alunos que eles deveriam trazer bibliografia técnica, seus livros texto das disciplinas teóricas que haviam cursado, etc.

Além disso, eles deveriam sempre calcular a imprecisão associada a cada medida efetuada no Laboratório.

Os alunos poderiam, e deveriam, colocar seus comentários e/ou conclusões a respeito da disciplina.

Até aqui, nenhuma pergunta especial sobre a disciplina, ou sobre o “engenheiro de indústria” que a acompanharia.

O Professor Responsável enfatizou também a importância do aspecto de segurança, salientando alguns cuidados básicos de segurança individual e do equipamento. Por exemplo, só executar alguma operação se se tivesse absoluta certeza da sua segurança, chamar o Técnico e/ou Professor se houvesse qualquer dúvida a esse respeito, etc.

Ele disse, também, que iria haver uma avaliação final (prova final) por escrito, para quem não atingisse média 5,0 durante o andamento dos trabalhos. Isso foi um blefe: essa avaliação não estava realmente nos planos.

Os alunos não poderiam imaginar, àquela altura dos fatos, que a avaliação que se pretendia fazer seria apenas no sentido de dar subsídios aos professores para auxiliar no andamento do próprio ensino da disciplina.

Aqui, nitidamente, se chegou ao ponto que interessava aos alunos. Foi o ponto em que eles começaram a fazer perguntas, querendo saber de que tipo de avaliação se tratava, como seria feita exatamente a avaliação “durante o andamento dos trabalhos”, etc.

Esperavam que essa avaliação fosse do tipo tradicional, do tipo que faz com que os alunos tenham uma aprendizagem superficial (Tynjälä, 1998, *apud* Barros Filho, 2002). Afinal, era com isso que eles estavam acostumados, durante todo o seu curso de Engenharia. Quando, de acordo com o mesmo Barros Filho, citando a análise de Piaget, (...) *Os exames (tradicionais) utilizam questões de memória que em geral não tem nenhuma relação com o que se utiliza na vida, pois se trata de uma acumulação provocada e momentânea. O único exame sério seria aquele em que o candidato, de posse de seus livros e documentos, realiza um trabalho que prolonga o que já sabia (...)* (Piaget *apud* Barros Filho, 2002).

4.2 Primeiro Dia de Atividades: Caldeira

Dia 14/08/01

Nesse dia foram iniciadas efetivamente as atividades práticas de Laboratório da nossa disciplina.

O grupo I recebeu a tarefa associada ao experimento 1: Caldeira.

O enunciado da situação-problema era:

Você é o engenheiro de uma indústria, responsável pelo Depto. de Utilidades, e é comunicado pelo Depto. de Contabilidade que a sua Caldeira está consumindo combustível demais. Será esse aumento devido a problemas na Caldeira ou apenas a um aumento de produção da indústria?

A estrutura das atividades de ensino havia sido planejada conforme o Quadro de Planejamento das Atividades, acima, quadro este nos moldes da proposta por Silva e Barros Filho, 1997, onde abrimos vários campos que explicitam: quais os momentos e quais são as atividades que o professor irá propor; quais são os objetivos pedagógicos de cada atividade e quais serão os instrumentos de avaliação utilizados e em que momentos serão usados.

Iniciamos as atividades perguntando aos alunos se haviam lido os textos previamente distribuídos para eles, com informações técnicas e procedurais sobre o assunto (caldeira), conforme combinado na reunião da semana anterior. Eles não haviam lido.

Aqui se podia notar o ranço proveniente das disciplinas tradicionais que eles haviam assistido nos nove últimos semestres: não haviam lido o material prévio, porque não estavam ainda motivados, ou instigados, a isso. Como observado por Silva (1999b), os alunos acabam por “realizar experimentos de forma ‘mecânica’, sem reflexões acerca do que se pretendia ensinar”.

Desta forma, foi permitido aos alunos que lessem o material.

Em seguida, foi solicitado a eles que cada um apresentasse um Plano Individual para resolver o problema .

Os Planos Individuais concebidos por eles previam diversos tipos de soluções, desde soluções técnicas (medir o desempenho da Caldeira, verificar o desempenho do combustível utilizado), até soluções administrativas (conferir a relação entre o consumo de vapor da indústria, verificar os procedimentos de manutenção utilizados pela indústria, etc).

Quanto a verificar o desempenho da Caldeira, os alunos esqueceram a principal fonte de perdas de calor do equipamento: o calor da fumaça que sai pela chaminé. Por

exemplo, o aluno A1 listou os cuidados a tomar: *problemas com o queimador de combustível, com a manutenção da Caldeira, com a tubulação entre a Caldeira e os processos, com o PCI do combustível, e com vazamento de fluido na tampa do tubulão.*

Não foram citadas as perdas pela chaminé.

Isto é, ao procurar a possível fonte dos problemas, esqueceram-se de uma suspeita que devia ser a primeira a ser considerada, dado que é a principal. Isto, um semestre após terem estudado em uma outra disciplina, teórica, quais seriam as possíveis perdas de calor das caldeiras.

É possível que, aqui, este fenômeno possa ser explicado pelo fato de que “todo conhecimento é resposta a uma pergunta” (Bachelard, 1938, *apud* Gil Pérez, 1999a).

Será que, na disciplina teórica que tiveram a respeito, havia uma pergunta a ser respondida?

Em seguida, os alunos foram colocados para discutir em grupo e fazer um plano conjunto para a solução do problema. Nesta fase, eles se lembraram daquela perda principal (a perda pela chaminé).

Nesse dia, um determinado aluno (A3) liderou as discussões do grupo, embora todos participassem.

Os alunos não perguntaram qual o combustível que a Caldeira utilizava (gás de cozinha), um outro dado essencial para se avaliar ao equipamento. Perguntaram se havia um Manual de Operação da Caldeira, para consulta. O Professor Responsável disse que não havia. Mas mesmo assim conseguiram colocar todas as principais condições necessárias para se resolver o problema.

Depois os alunos foram operar o equipamento, em busca de dados para verificar as hipóteses colocadas no Plano de Trabalho.

Neste estágio, perguntaram o que os professores queriam realmente que eles fizessem. Esta pergunta deixava claro que, só então, eles perceberam que se tratava realmente de uma proposta pedagógica diferente. Este fato, associado à preocupação em não se descuidar de modo a ficar em dependência naquela ou em qualquer outra disciplina, bem no último semestre do curso, que nós já tínhamos identificado na aula anterior, justificava a pergunta. Afinal, em todas as outras disciplinas do seu curso eles haviam se preocupado prioritariamente com a nota.

Procuramos explicar a nossa proposta novamente, do modo mais simples possível. Dissemos que o professor, nesta proposta, se apresenta como um *diretor de pesquisas*, um orientador que participa do grupo-classe colocando problemas e ajudando a resolvê-los. Que, neste contexto, os alunos são encarados como pesquisadores novatos que participam de um programa de investigações (de acordo com Gil Pérez, 1993) .

Mas não se sentiu tranquilidade entre eles, nem mesmo depois dessa explicação. Afinal, foram anos se colocando como meros receptores de conhecimentos, acostumados ao *magister dixit*, e a mudança aqui foi muito brusca. Ainda não tinham certeza do terreno em que estavam pisando.

Durante a operação da caldeira, demonstraram não ter habilidade suficiente com a leitura de instrumentos e com erros em medidas experimentais, habilidades essas necessárias à formação de um engenheiro, e que se presumia já tivessem aprendido em outras disciplinas anteriores. Foram direcionados a procurar desenvolver melhor essas habilidades via consulta à literatura pertinente, ou por simples observação *in loco*.

Na fase seguinte, o grupo teria que apresentar uma primeira solução com as medições feitas. Mas, aqui, os alunos demonstraram não ter conhecimento suficiente de Química (estequiometria) para equacionar corretamente o problema. Foram direcionados a procurar nos livros.

Com tudo isso, conseguiram fazer um primeiro Memorial de Cálculos, com os resultados obtidos, e propuseram uma primeira solução para o problema, conforme exigido. Achamos que eles demonstraram grande capacidade de superação, aliada a uma boa disposição para trabalhar em equipe. Nem poderia ser diferente. Estes alunos haviam superado barreiras maiores ainda, num vestibular concorridíssimo. Rapidamente eles iriam absorver o espírito da coisa.

4.3 Segundo Dia de Atividades

Dia 21/08/01

Nesse dia, os alunos desse grupo deveriam finalizar o experimento com a Caldeira. Mas o dia começou mal: os alunos não trouxeram o material produzido no encontro passado (primeira solução individual e a primeira solução de grupo). Pior ainda: trouxeram uma solução convencional, provavelmente copiada de relatórios de anos anteriores, numa atitude como as que foram designadas “Engenharia de Sobrevivência Escolar” por Barros Filho (Barros Filho e Silva, 2001).

Aqui um ponto muito importante: a atitude dos alunos. Mais que o simples conhecimento adquirido na disciplina, havia outros eixos a desenvolver: a atitude e as habilidades envolvidas .

A proposta de Coll (1992) sugere que devemos estabelecer o currículo em três eixos principais, sendo eles: a) Conhecimentos (conceitos, princípios, leis e teorias); b) procedimentos (habilidades); c) valores, normas e atitudes . Os cursos tradicionais têm dado atenção apenas para o ensino de conceitos. Coll defende que, associados aos conceitos, existem diversos procedimentos, valores, normas e atitudes que devem ser ensinados aos alunos (Almeida, 2002).

O Professor Responsável então os repreendeu. Disse que não era a atitude que esperávamos deles, e que era contra isso que estávamos lutando. Combinou com eles então que o grupo faria uma nova proposta de solução em grupo.

Fizeram, mas a proposta era diferente da anterior. Enquanto na proposta concebida na semana anterior eles tinham proposto *Calcular a eficiência da Caldeira, e verificar se e como esta eficiência variou*, nesta semana a proposta deles era *Verificação de vazamentos (...), verificação da presença de combustível não-queimado, (execução da) análise química do combustível (...)*.

Refizeram então mais uma vez os cálculos, mas não perceberam uma falha no seu procedimento experimental: os pontos de operação adotados estavam muito próximos um do outro, o que introduzia, desnecessariamente, uma grande imprecisão nos resultados de eficiência da Caldeira. Planejar a atividade antes de executá-la, definindo pontos de operação suficientemente afastados um do outro, de modo a se obter uma boa precisão dos resultados, é uma das habilidades, ou procedimentos, que queríamos desenvolver.

Nesse ponto, achei que o grupo estava “perdido” demais. Atitudes repreensíveis, faltas das habilidades necessárias, parecia que o grupo não tinha ainda autonomia para desempenhar a tarefa. Falei com o Professor Responsável, que deu um livro técnico sobre Caldeiras para os alunos lerem, mas ficou um só aluno lendo o livro (A3),

isolado do grupo. Mais tarde, ele disse que não encontrou nada de aproveitável no livro (!).

Os alunos finalmente perceberam o erro nos pontos de operação e refizeram a operação da Caldeira, em 6 pontos de operação diferentes, e mais distantes um do outro. Decidiram terminar os cálculos em casa. O Professor Responsável não permitiu: exigiu que eles terminassem tudo ali mesmo. Percebi que, embora eles não exteriorizassem isso, eles estavam muito contentes com o fato de terem superado a sua dificuldade. Achei que eles nunca mais vão se esquecer de espaçar os pontos de operação de um equipamento, se quiserem resultados confiáveis no experimento.

Durante esse dia, o aluno (A3) que havia liderado o grupo no primeiro dia se mostrou desestimulado e isolado. Achei que era porque não estava conseguindo mais liderar, o que era uma atitude bastante infantil da parte dele. Mas o grupo tinha produzido bem sem sua liderança, o que indicava que o grupo estava se tornando mais maduro, e isso era muito bom.

Chegaram a resultados corretos: rendimento de 36,5%, com imprecisão de 3,5%, muito próximos dos resultados esperados.

4.4 Terceiro Dia de Atividades

Dia 28/08/01

Nesse dia o grupo recebeu a tarefa associada ao Calorímetro de Gás. Este aparelho é usado para se medir o Poder Calorífico Inferior (PCI) de um combustível. O PCI é, simplificada, a quantidade de calor liberada pela combustão de uma quantidade predeterminada do combustível, ao se queimar.

A situação-problema foi : *A indústria em que você trabalha recebeu um novo combustível e precisa conferir o seu PCI. A indústria dispõe de um calorímetro, mas comenta-se que ele tem muitas perdas. Você não dispõe de normas técnicas a respeito. Desenvolva uma metodologia para utilizar o calorímetro que garanta minimizar as perdas e meça o PCI do combustível.*

Os alunos novamente não leram previamente o material a respeito, conforme havia sido recomendado. Foi novamente lembrado a eles que esta leitura prévia era muito importante, e sobre o tipo de atitude que queríamos estimular.

Confrontados com a situação-problema, elaboraram Planos Individuais semelhantes entre si, e semelhantes ao Plano da tarefa anterior (Caldeira). Mas eram Planos bastante razoáveis (cálculo do PCI via análise das perdas de calor do equipamento).

Evidentemente, o Plano do Grupo também teve as mesmas linhas básicas. Os alunos operaram o Calorímetro, montaram e preencheram uma Folha de Dados, calcularam um primeiro resultado e forneceram uma primeira resposta. Foi combinado com eles que, para o próximo encontro, eles já trariam pronto o Memorial de Cálculos desta primeira resposta.

4.5 Quarto Dia de Atividades

Dia 04/09/01:

Os alunos chegaram sem o Memorial de Cálculos combinado. Realmente, anos e anos de uma atitude passiva em relação às disciplinas do Curso tinham deixado suas marcas. Tiveram que utilizar a Folha de Dados brutos do primeiro encontro dessa

tarefa, e calcular os resultados obtidos para chegar ao Memorial. Mas isto, é claro, iria atrasar o andamento das tarefas daquele dia.

Além disso, o Professor Responsável percebeu que os alunos estavam trabalhando basicamente de maneira individual, e não em grupo. Isto é, apesar de estarem fisicamente próximos, e utilizando a mesma mesa, não estavam trocando nada. Perguntou se assim eles não iriam “bater cabeça”, se este era mesmo o melhor jeito de se chegar logo à solução final. Os alunos reconheceram a atitude nada construtiva, e passaram a se organizar para trabalhar em grupo.

O Professor Responsável expôs um pouco da Teoria dos Erros. Esta teoria é necessária para se calcular a real precisão dos resultados obtidos em qualquer experimento. Aqui, novamente, era de se estranhar que alunos do 9º semestre de Engenharia Mecânica ainda não dominassem perfeitamente esta Teoria. Afinal, ela fazia parte do currículo de uma disciplina teórica que eles já haviam assistido, e, em princípio, ele já deveriam ter utilizado essa mesma Teoria em várias outras disciplinas práticas.

Os alunos a utilizaram, e produziram um Relatório Final com os dados medidos, os cálculos efetuados e os resultados obtidos, inclusive com a precisão destes.

Finalmente tinham chegado a um bom resultado, mas eles não pareciam felizes com isso. Talvez tivesse ficado uma certa frustração por terem precisado de uma verdadeira aula de Teoria dos Erros, para terem sucesso na sua empreitada.

4.6 Quinto Dia de Atividades

Dia 18/09/01

Nesse dia o grupo recebeu a tarefa associada ao Trocador de Calor.

A situação-problema era a seguinte:

Uma indústria precisa de um trocador de calor para um certo processo. Seus engenheiros receberam um quadro com os parâmetros com que tal trocador precisa funcionar. O trocador foi então encomendado a um fabricante. Quando pronto, o trocador foi instalado, mas a indústria reclamou que não funcionou conforme o desejado. Os engenheiros da indústria dizem que o trocador foi mal fabricado, enquanto os engenheiros do fabricante alegam que os dados fornecidos originalmente é que não eram realistas.

Você, que trabalha em uma empresa de consultoria, é chamado para arbitrar a questão. Além disso, você deve propor soluções tanto para a indústria quanto para o fabricante.

Dados do problema:

Especificações do processo da indústria:

Vazão do fluido quente: 0,06 l/s

Vazão do fluido frio: 0,15 l/s

Temp. entrada do fluido quente: 47 °C

Temp. saída do fluido quente: 42 °C

Temp. entrada do fluido frio: 30 °C

Relatório do fabricante do trocador:

Temp. saída do fluido frio: 32 °C

$U = 3180 \text{ w} / ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2$.

Apesar de todos os nossos esforços até então, apenas dois alunos (A1 e A4) deste grupo estavam presentes nesse dia. Eles fizeram e apresentaram seus Planos Individuais, mas com soluções simplistas e muito parecidas entre si: basicamente se tratava de medir as vazões e temperaturas do trocador de calor existente e comparar

tanto com os dados fornecidos pela indústria quanto com os alegados pelo fabricante. O procedimento não poderia ser tão simples assim.

Fizeram o experimento com o aparelho, mas os resultados não estavam condizentes com a previsão dos seus Planos de Trabalho. Descobriram então que nem toda a energia perdida pela água quente aparecia na água fria. De fato quando há troca de calor entre duas substâncias, na prática, sempre um pouco desse calor se “perde”, ou seja, se dissipa no ambiente. Isto é, havia perdas de calor insuspeitadas até então. O Professor Responsável esclareceu a natureza dessas perdas (perdas axiais por condução através dos tubos), para ajudá-los. O problema foi resolvido.

Mas com isso eles se atrasaram e não puderam fazer em tempo os cálculos previstos.

Disseram que iriam deixar para fazer em casa. Concordamos: afinal, estávamos esperançosos de que eles já estivessem adotando atitudes mais construtivas.

4.7 Sexto Dia de Atividades

Dia 25/09/01

Neste dia os quatro alunos do grupo (A1, A2, A3 e A4) estavam presentes. Os dois que haviam comparecido na aula anterior, A1 e A4, tinham feito os seus cálculos em casa, atitude que procuramos estimular.

Mas os outros dois estavam defasados em relação aos que haviam vindo no encontro anterior. Estes dois, que estavam atrasados, começaram fazendo seus Planos de Trabalho individuais. Enquanto isso, os outros não estavam satisfeitos com o resultado de seus cálculos, e resolveram refazer a parte experimental.

Os alunos que haviam faltado no encontro anterior fizeram seus Planos de Trabalho individuais, mas incorreram no mesmo erro que seus colegas: fizeram simplificações que não cabiam ali (todo o calor perdido por um fluido ser absorvido pelo outro). Além disso, demonstraram conhecimento insuficiente da teoria a respeito (não sabiam calcular o desempenho de um trocador de calor pelo método da efetividade). O Professor Responsável mostrou este cálculo no livro.

No final, o Professor Responsável teve que mostrar também, no livro, o método de avaliação teórica do coeficiente global de transferência de calor (U), vital para o cálculo daquele desempenho. Novamente aqui, tratava-se de conceitos teóricos que os alunos tinham visto em aulas teóricas de outras disciplinas anteriores mas que haviam esquecido.

Os alunos terminaram os cálculos, e chegaram a uma conclusão razoável a respeito da situação-problema. Mas se esqueceram de redigir a carta-resposta, apresentando suas conclusões de uma forma não-técnica.

Com este encontro, terminou o primeiro bimestre da disciplina. Metade da nossa experimentação já tinha se passado. Era hora de termos uma reunião com todos os alunos, para avaliarmos o nosso processo.

4.8 Reunião de Avaliação

Dia 09/10/01

Presentes: o Professor Responsável, os dois doutorandos, e mais 5 alunos.

O Professor Responsável começou a reunião falando sobre a importância da presença e da pontualidade em uma experiência de ensino como essa, com uma metodologia em que a participação e o envolvimento dos alunos é fundamental. Os

alunos pareceram concordar, mas eu não estava certo disso. Afinal, dos 8 alunos só 5 estavam presentes nesta reunião.

Além disso, o fato de se precisar dizer que a assiduidade era importante mostrava para nós que ainda não havia envolvimento e motivação suficiente por parte dos alunos. Por quê? O desafio de uma situação-problema tão realista, colocada para alunos já em fase final de preparação para enfrentar o mercado de trabalho, não era por si só suficiente?

Depois, o Professor Responsável falou do experimento com o trocador de calor. Re-expôs a situação-problema. Comentou que o Grupo I não havia emitido o laudo-resposta exigido. Em se tratando de uma situação-problema que procurava se aproximar ao máximo da realidade vivida pelos engenheiros na indústria, este tipo de falha é grave. Afinal, é alguma coisa como um engenheiro resolver um problema técnico em uma empresa mas se esquecer de comunicar isso aos interessados. Como se Einstein tivesse descoberto a Teoria da Relatividade mas se tivesse esquecido de comunicar isso à comunidade científica.

O Professor Responsável mostrou também que nenhum dos dois grupos apresentou resultado tecnicamente satisfatório. Falou sobre o calorímetro. Disse que, durante o experimento, notou que os alunos não sabiam precisar exatamente o que é que estavam medindo (PCI).

O Professor Responsável disse que, no 2º Bimestre, seria melhor os alunos emitirem seus laudos individualmente, para que se pudesse avaliar melhor e retornar a eles mais *feed-back*.

O doutorando em Educação procurou falar sobre a sua experiência pessoal como engenheiro de indústria e o tipo de problemas que se pode esperar. Mostrou que são problemas muito próximos dos que estão sendo colocados aqui. Falou novamente que

essa é uma nova metodologia de ensino, onde se espera que os alunos participem ativamente da atividade, e que eles mesmos é que construirão o conhecimento, as habilidades, a atitude.

Pedi a opinião dos alunos sobre a disciplina. O aluno A4 disse que *ensino desse tipo deveria ser dado durante todo o Curso de Engenharia, e não só numa disciplina*. Todos os alunos disseram que aprovaram. O aluno B2 disse que *os alunos só aprendem teoria, e de maneira passiva, e só isso é que é exigido deles*. Os alunos concordaram que é importante a participação direta de todos, inclusive com assiduidade e pontualidade, nesse tipo de aula.

O Professor começou então a falar sobre as notas que cada um tinha recebido, no primeiro bimestre. Os alunos não se mostraram interessados (!), continuavam comentando entre si as diferenças desse tipo de ensino com o tradicional.

Os professores ficaram admirados. Vinda daqueles alunos, criados numa cultura de só lutar por notas, e apenas por elas, esta posição foi surpreendente. Os alunos simplesmente não estavam interessados em saber suas notas, e sim em saber mais sobre essa estranha metodologia de aprendizagem.

4.9 Sétimo Dia de Atividades

Dia 16/10/01

Nesse dia foram iniciados os experimentos do 2º bimestre.

O Grupo I recebeu a tarefa referente ao Aquecedor a Gás. A situação-problema era:

Você é um engenheiro consultor, e é contratado por uma academia de ginástica. O objetivo é auxiliar a decidir entre chuveiros elétricos e aquecedores a gás de passagem nos banheiros da academia.

Dados do problema:

Vazão de água para um banho: 0,05 l/s

Temperatura da água de um banho; 36 °C

Duração média de um banho: 20 min.

Eficiência do chuveiro elétrico: 98%

Preço do gás: R\$ 1,54 / kg

Preço da energia elétrica: R\$ 0,22 / kwh

Obs: No chuveiro elétrico, toda a água é consumida por um só cliente

No chuveiro a gás, pode-se misturar a água quente com água fria e além disso pode-se fornecer água para dois ou mais banhos simultaneamente.

O banheiro tem 20 chuveiros.

Os alunos fizeram um primeiro Plano de Trabalho, individual, e em seguida consolidaram em um Plano de Trabalho de Grupo. Mas tiveram sérias dificuldades em colocar este Plano em marcha.

Havia 20 chuveiros no Banheiro da Academia, e o Plano previa 10 aquecedores, isto é, um aquecedor para cada dois chuveiros. Este número, de 2 chuveiros por aquecedor, se revelou muito baixo. Quando os alunos partiram para a operação do aquecedor, notaram que para dois chuveiros a vazão de gás no aquecedor era tão pequena que o aparelho se mostrava instável (chegava a apagar sozinho). Além disso, nessa condição uma vazão de gás muito pequena introduzia uma imprecisão muito grande na sua medida. Era como se medir as intenções de voto de um candidato, com

uma imprecisão de mais ou menos 2 %. Se o candidato tiver 20, ou 30, ou 40 % das intenções de voto, tudo bem. Mas se ele tiver só 1 %...

Assim, a acuracidade dos resultados ficou prejudicada. Fizeram uma anotação relatando estas dificuldades e propondo refazer o experimento na aula seguinte com 6 (seis) chuveiros por aquecedor.

4.10 Oitavo Dia de Atividades

Dia 23/10/01

Os alunos refizeram totalmente o Plano de Trabalho do Grupo, agora com 6 chuveiros por aquecedor. Mas quando experimentaram o aparelho nessas condições descobriram outro problema: com 6 chuveiros, o aquecedor não conseguia fornecer vazão de água quente suficiente para todos eles. Recuaram um pouco: resolveram experimentar com 5 chuveiros por aquecedor. Refizeram os experimentos com o equipamento e agora sim, conseguiram uma faixa de operação bastante razoável. Calcularam o rendimento do aquecedor em cada ponto dessa faixa de operação e chegaram à conclusão que o melhor ponto de operação era com os 5 chuveiros por aquecedor, com os aquecedores fornecendo água a 60,1 °C. Emitiram seus laudos.

4.11 Nono Dia de Atividades

Dia 30/10/01

O grupo iniciou nesse dia as atividades com o equipamento Ar Condicionado.

A situação-problema era: *Para climatizar um escritório de advocacia, existem três propostas de diferentes fabricantes de aparelhos, com preços e capacidades nominais semelhantes entre si. Você deve produzir um laudo definindo qual a melhor opção.*

Na verdade, não havia três equipamentos diferentes no Laboratório para se comparar. Havia, isto sim, um equipamento versátil, que podia funcionar de três modos diferentes, como se se tratasse de três aparelhos.

Aqui, houve outro problema com o conhecimento teórico prévio do grupo. Devido a problemas ocorridos no currículo do Curso, estes alunos não tinham tido todas as aulas sobre Refrigeração e Ar Condicionado previstas no seu currículo. Por isso, o Professor Responsável teve que dar uma aula expositiva improvisada sobre a teoria a respeito.

Mas podia-se perceber que os alunos estavam mais motivados e interessados, depois da reunião de avaliação feita no fim do 1º bimestre. O ambiente estava mais descontraído, com os alunos mais à vontade para tomar iniciativas, como procurar livros e perguntar para os professores sobre habilidades que eles não dominavam.

Os alunos fizeram rapidamente seus Planos de Trabalho, tanto os individuais quanto o de grupo. A impressão que dava era que já se haviam acostumado ao “espírito” da coisa. Fizeram a parte experimental, e terminaram rapidamente.

Observaram as temperaturas obtidas em cada um dos “equipamentos”, mas se esqueceram de um dado fundamental: comparar as suas capacidades de refrigeração. Esta capacidade de refrigeração é o dado mais importante para se comparar as performances dos equipamentos. A falta dessa sensibilidade, sobre o que é realmente importante na prática (a capacidade de refrigeração, e não a temperatura atingida por cada equipamento) é uma das coisas que distinguem um engenheiro de um aluno de

engenharia. É o que se chama, popularmente, de experiência. É um conhecimento multi-facetado, que combina, no caso, conceitos de Ciência, de Tecnologia, de Administração e de Economia, entre outras, com habilidades e atitudes adequadas ao caso. Conceitos e habilidades que, num curso tradicional, são apresentados de maneira estanque ao aluno.

O Professor Responsável os alertou para tudo isso. Os alunos refizeram o experimento, agora anotando cuidadosamente as capacidades obtidas.

Fizeram um primeiro relatório, com a primeira solução do problema.

4.12 Décimo Dia de Atividades

Dia 06/11/01

O Professor Responsável discutiu com os alunos a primeira solução, obtida na aula anterior. Questionou alguns pontos que não estavam tecnicamente bem definidos (determinação dos erros experimentais associados ao experimento, via computador). Os alunos estavam então utilizando um *software* (EES – *Engineering Equation Solver*), mas não estavam dominando totalmente a técnica de sua utilização. O Professor Responsável reforçou que eles precisavam desenvolver melhor esta habilidade, já que o computador não faz nada por si só.

Os alunos refizeram o experimento e os cálculos. Conseguiram fazer seus laudos finais individuais.

4.13 Décimo-Primeiro Dia de Atividades

Dia 13/11/01

O equipamento da vez, agora, era de jato-propulsão. A situação-problema era:

O Depto de Marketing da Embraer se mostra interessado em substituir os jatos “tradicionais” por um novo jato, apresentado pelo fornecedor, que apresenta diferenças no princípio de funcionamento. Solicita portanto ao Depto de Desenvolvimento que analise a questão e responda sobre a viabilidade técnica.

Dados do problema:

Velocidade de cruzeiro da aeronave: 15 m/s

Empuxo requerido: 1,5 N líquido

Empuxo declarado pelo fabricante do jato: 8 N

Consumo específico requerido: 25 kg / h. N

Consumo específico declarado: 5 kg / h. N “.

Você deve analisar o problema e redigir uma carta-resposta ao Depto de Marketing.

Nessa atividade, novamente, o Professor Responsável teve que fazer uma explanação teórica prévia, inclusive com o fornecimento de uma apostila, porque o equacionamento matemático de um aparelho de jato não é conhecido a fundo nem mesmo por formandos em engenharia mecânica. Os alunos gastaram algum tempo, para construir estes conceitos.

Além disso, houve uma espécie de treinamento de campo sobre a operação do equipamento. Esta operação, diferentemente das anteriores, apresentava um certo risco de segurança individual, já que trabalha com altas temperaturas e tem um modo

de operação que é inerentemente um pouco instável. O Professor Responsável operou pessoalmente o jato, mostrando os cuidados de segurança a se tomar.

Os alunos realizaram o experimento, sem maiores problemas de operação, mas cometeram erros na leitura dos instrumentos. Não atentaram para o fato de que os manômetros da bancada registravam pressões relativas (pressões que utilizam como referência a pressão atmosférica), e não pressões absolutas (que se referem ao vácuo absoluto).

Colocaram os dados obtidos no computador para fazer os cálculos, ainda com bastante dificuldade para montar os quadros de resultados neste programa (EES).

Não chegaram a nenhum resultado concreto, porque não deu tempo.

4.14 Décimo-Segundo Dia de Atividades

Dia 23/11/01:

Antes que o grupo procurasse chegar a um equacionamento final, o Professor Responsável os alertou para os equívocos de leitura de instrumentos cometidos na aula anterior. Os alunos se alongaram numa discussão entre eles, sobre o equacionamento final do problema. Por fim, decidiram refazer a parte experimental.

O grupo recebeu um reforço sobre os cuidados a se tomar na operação desse tipo de equipamento. Agora sim: durante a operação conseguiram tomar corretamente os dados experimentais. A digitação desse dados no computador também foi mais rápida, e conseqüentemente os alunos puderam fazer seus laudos finais.

5. OS RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Procuramos restringir a análise dos resultados obtidos mantendo o foco em apenas uma das seis atividades de sistemas térmicos realizadas, mais especificamente a que trata da análise e avaliação do uso de um Aquecedor de Água a Gás. Tal restrição não introduz nenhuma perda de generalidade, muito pelo contrário, porque nos permite uma análise mais cuidadosa e detalhada dos resultados. Conforme já foi citado anteriormente, os estudos de caso se caracterizam por uma tônica essencialmente qualitativa e resultam em vantagens, exatamente porque são apropriados às pequenas escalas e não restringem a possibilidade de novos estudos *a posteriori* de aprofundamento ou de simples retomada.

Para esta análise, foi utilizado um vasto material documental, a seguir exposto.

5.1 Os Instrumentos Utilizados

No decurso das aulas piloto realizadas sobre a situação-problema do aquecedor a gás, lançamos mão de diversos instrumentos de análise e avaliação dos resultados obtidos, de maneira a acompanharmos o desenvolvimento dos alunos. Os principais instrumentos utilizados foram:

a) Material coletado dos alunos:

- Roteiros Individuais: conforme citado no parágrafo 3.8, tratava-se da primeira tentativa que o aluno fez de uma solução para a situação-problema, ainda sem ter discutido o assunto com o grupo nem ter

efetuado qualquer experiência com o equipamento em questão (aquecedor de água a gás).

O objetivo, aqui, era fazer com que os alunos explicitassem as suas idéias prévias sobre como resolver o problema. Esperava-se que fossem explicitadas as concepções espontâneas que os alunos trouxeram para a sala de aula, muito importantes para a definição das táticas que viriam a ser adotadas pelos professores.

Mas este Roteiro foi também importante por outro motivo, agora tornado claro: foi a primeira manifestação concreta do aluno, tanto de seus conhecimentos quanto de suas habilidades e atitudes. Agora, ela será confrontada com a Carta Final que o aluno fez ao cabo do experimento, para se buscar uma medida de avaliação da sua evolução individual. Trata-se, portanto, de um instrumento valiosíssimo de análise dos resultados obtidos com este aluno.

- Roteiro do Grupo: era a primeira tentativa que o grupo (de quatro alunos) elaborou de uma solução para a situação-problema, ainda sem ter efetuado nenhuma experiência com o equipamento em questão. Os alunos, neste ponto, já haviam feito os seus Roteiros Individuais; à primeira vista, poder-se-ia esperar que as suas contribuições individuais se somassem, de maneira a produzir um Roteiro de Grupo mais consistente e elaborado que qualquer dos Roteiros Individuais, isolados. Mas não era o que acontecia, na realidade, na maioria das vezes...

De qualquer maneira, o enriquecedor, aqui, foi a troca que se deu entre os alunos, nem sempre muito produtiva, mas sempre reveladora de suas concepções, espontâneas ou não. Este momento também falava muito

de suas habilidades (ou até da falta delas) e principalmente de suas atitudes.

- **Folha de Dados Obtidos:** era o documento onde os alunos anotavam os resultados obtidos durante a experiência que fizeram com o equipamento, como resultado das suas propostas apresentadas no Roteiro de Grupo. Aqui se anotava as temperaturas atingidas no equipamento, as vazões de água e de gás, entre outros dados numéricos. A finalidade era descobrir a melhor regulação possível para o aquecedor de água a gás, de modo a se poder compará-lo com os chuveiros citados na situação-problema.

A experiência com o aquecedor era um momento extremamente rico, em que se ia observar um grupo de quatro alunos de engenharia manuseando um equipamento mecânico ao vivo, com suas próprias mãos. Aqui, falavam alto tanto o conhecimento que estes alunos têm de Termodinâmica quanto suas habilidades para lidar com os instrumentos de medida do painel do aquecedor, e suas atitudes de trabalho solidário em grupo.

- **Primeira Solução do Grupo:** após a experiência com o equipamento no campo, cada grupo de alunos elaborou um documento, apontando a sua primeira solução (do grupo). Era uma deixa para os professores avaliarem este resultado apresentado, a fim de dar um *feed-back* aos grupos. Os alunos debatiam com os Professores. O objetivo, aqui, era verificar se era necessário redirecionar o trabalho dos grupos.
- **Pré-Memorial de Cálculo:** o objetivo era fazer com que os alunos desenvolvessem a habilidade de apresentar uma resposta para o

problema em linguagem técnica, de engenheiro. Não se esperava, neste ponto, uma solução tecnicamente perfeita, mas um encaminhamento do problema com toda a sua seqüência lógica, com a sua fundamentação teórica e factual, apresentada de uma maneira clara e inteligível.

Depois disso, os alunos deveriam refazer a experiência com o aquecedor a gás, de modo a incorporar os comentários, sugestões e conclusões trocados com os Professores. Também era uma forma de minimizar a possibilidade de erros, pela simples repetição da experiência, confirmando os resultados.

- Memorial de Cálculo: agora, sim: o grupo deveria ter chegado a uma solução final satisfatória, supervisionada pelos Professores e confirmada pelas experiências realizadas. Novamente, o grupo deveria fazer o seu Memorial de Cálculo, com os raciocínios, dados e números que lhes permitiram chegar ao seu resultado final.
- Solução Final do Grupo: Aqui, o grupo elaborava e redigia a sua solução final para a situação-problema apresentada, mas ainda em linguagem técnica.
- Carta: o objetivo da Carta Final era desenvolver no aluno a habilidade de apresentar soluções técnicas numa linguagem não-técnica. Verificar até que ponto os alunos conseguiam se comunicar com um leigo em engenharia, sem perda do rigor lógico dos elementos envolvidos na sua solução, no sentido apontado por uma das Diretrizes Curriculares do MEC: *comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica* (Brasil, 2002).

b) Material coletado dos professores:

- Diários de bordo: eram as anotações feitas a cada dia de atividades, pelos Professores. Não eram formais, ou pré-formatadas: tratava-se, apenas, das impressões, informações e comentários obtidos e registrados pelos Professores.
- Entrevistas efetuadas com os professores.

c) Material coletado do pesquisador:

- Diários de bordo, semelhantes aos citados acima.
- Anotações em classe.

5.2 Os Critérios de Avaliação

Para analisarmos as produções dos alunos, nos inspiramos na proposta de Coll (1992), que sugere que devemos estabelecer o currículo em três eixos principais, sendo eles:

- a) conhecimentos (conceitos e princípios);
- b) procedimentos (habilidades);
- c) valores, normas e atitudes.

Os cursos tradicionais têm dado atenção apenas para o ensino de conhecimentos. O autor defende que, associados aos conhecimentos, existem diversos procedimentos, valores, normas e atitudes que devem ser ensinados aos alunos.

Mas o que entendemos por conceitos, princípios, procedimentos e valores, normas e atitudes:?

Vamos nos deter um pouco em cada um destes termos:

- a) conceitos e princípios:

- conceitos:

Sills (1974) exemplifica o termo “conceito” dizendo que o mundo está cheio de objetos, conhecimentos e idéias que possuem características comuns. Em geral, a cada uma dessas qualidades comuns corresponde um conceito. Quando uma pessoa consegue identificar uma dessas características, dizemos que ela aprendeu um conceito. Por exemplo, um garoto aprende o conceito de azul quando consegue escolher, dentre vários objetos misturados de várias cores e formas, apenas os azuis.

Ao dar esta resposta conceitual ele está abstraindo a propriedade azul das outras propriedades dos objetos tais como o tamanho, forma ou função. Como outro exemplo podemos citar o caso de uma criança que aprendeu o conceito de triângulo. Isso acontece quando ela consegue distinguir triângulos de várias formas (retângulo, isósceles, escaleno, eqüilátero e obtusos) de outras figuras geométricas. Em resumo, é o que Piaget chama de uma abstração.

Piaget faz distinção entre as formas de abstração. Na abstração empírica o sujeito retira as propriedades pertencentes ao objeto (ex.: forma, cor, peso, entre outras). Diferentemente, a abstração reflexionante retira propriedades da coordenação das ações do sujeito. Ambas as formas de abstração concorrem para a construção conceitual; no entanto, é a abstração reflexionante a responsável pela construção dos conceitos que subordinam a abstração empírica. Outra forma corresponde à abstração pseudo-empírica, a qual não deixa de ser uma abstração reflexionante que lê os resultados nos objetos. Essas formas atuam com mais freqüência no período operatório concreto do desenvolvimento cognitivo, porém sem deixar de atuar também no período das operações formais. A abstração reflexionante torna-se refletida quando ocorrem as tomadas de consciência, conduzindo o sujeito à tematização.

Para Piaget, as abstrações levam às generalizações, que consistem na extensão do campo. As abstrações empíricas conduzem às generalizações indutivas, ou seja, à extensão de um para todos. Já as abstrações reflexionantes conduzem às generalizações completivas ou construtivas, que exigem a reconstrução nos novos campos a que se estendem. Essas generalizações completivas atuam no campo das construções conceituais.

Neste sentido, Cabral *et al* (1979) afirma que um conceito requer duas qualidades básicas: abstração e generalização. A abstração isola a propriedade; a generalização reconhece que a propriedade pode ser atribuída a vários objetos. Por exemplo: durabilidade, excelência, doçura, são conceitos abstratos, que se aprende como qualidades comuns a uma determinada classe de coisas. Homem é um conceito geral, que representa qualquer homem, os Homens em geral, implicando o conceito abstrato de “humanidade”.

Buscando o significado deste termo para o ensino, Coll (1992), afirma que quando uma pessoa aprende um conceito, ela passa a ser capaz de identificar, reconhecer, classificar, descrever e comparar objetos ou idéias. Estas características apontadas por este autor revelam os processos complementares de abstração e generalização propostos por Piaget (1983).

- princípios:

Cabral *et al* (1979) afirma que, muitas vezes, emprega-se o termo princípio quando a regularidade descoberta parece não ser ainda suficiente, por alguma razão, para se estabelecer uma lei. Durozoi *et al* (1993), diz que do ponto de vista lógico, um princípio é a proposição inicial de uma dedução, ela própria não pode ser deduzida de qualquer outra.

Coll (1992) diz que o termo princípio é usado como sinônimo de regra ou lei. E à medida que os princípios descrevem relações entre conceitos, passam a constituir verdadeiros sistemas conceituais. Como exemplos, este autor cita a lei da gravidade, o funcionamento do sistema respiratório e o teorema de Pitágoras. Assim, aprender um princípio significa adquirir um conjunto de habilidades tais como identificar, reconhecer,

classificar, descrever e comparar as relações entre os conceitos a que se refere o princípio em questão.

b) procedimentos:

Coll (1992), define um procedimento como sendo um conjunto de ações ordenadas, que são orientadas para se atingir uma meta. A complexidade de um procedimento varia em função do número de ações ou passos necessários para realizá-lo e também da natureza das metas que devem ser alcançadas. Portanto, aprende um procedimento, quem é capaz de utilizá-lo em diversas situações e de diferentes maneiras com o intuito de resolver os problemas propostos. Assim, adquire-se um conjunto de habilidades tais como construir um plano, fazer um resumo ou utilizar um instrumento de medida.

c) valores, normas e atitudes:

Coll (1992), diz que um valor é um princípio normativo que preside e regula o comportamento das pessoas. Portanto, aprender um valor significa que se é capaz de regular o próprio comportamento de acordo com a norma que um dado valor estipula. Os valores se concretizam em normas, estas são as regras de conduta que as pessoas devem respeitar em determinadas situações. Assim, quem aprende uma norma é capaz de comportar-se de acordo com ela. Já as atitudes traduzem, em termos de comportamento, o maior ou menor respeito a um determinado valor e norma. Aprender uma atitude significa mostrar uma tendência consistente e persistente a comportar-se de uma determinada maneira ante classes de situações, objetos ou pessoas.

Tentando uma síntese, segundo Coll (1992), podemos admitir que:

Aprender um(a)	Conceito/Princípio	Procedimento	Atitudes, Normas e Valores
Significa, por exemplo, ser capaz de:	RECONHECER CLASSIFICAR COMPARAR EXPLICAR RELACIONAR ANALISAR GENERALIZAR INTERPRETAR	MEDIR MONTAR, CONFECCIONAR CONSTRUIR APLICAR REPRESENTAR EXPERIMENTAR ELABORAR TRADUZIR CALCULAR	COMPORTAR-SE RESPEITAR TOLERAR ACEITAR PRESTAR ATENÇÃO INTERESSAR-SE POR
O quê Onde Como	Objetos ou idéias/relações entre conceitos	Ou seja, ser capaz de utilizá-lo em diversas situações e de diferentes maneiras, com a finalidade de resolver um problema	Diante de uma dada situação

Estes três eixos das dimensões pedagógicas: conceitos e princípios; procedimentos; valores, normas e atitudes - ou em outras palavras: o saber, o saber fazer e o ser - devem ser, mesmo que não exaustivamente explicitados, muito claros, para não cair na ingenuidade de se pretender avaliar se um aluno adquiriu um conceito e acabar por estar avaliando se ele conseguiu executar um procedimento, ou pior ainda, na intenção de avaliar o domínio que um aluno tem de um determinado conceito, acabar por avaliar a sua atitude ou um valor.

Desta forma, se quisermos avaliar o quanto os alunos estão conseguindo aprender sobre um determinado conceito, deveremos permitir que os alunos mostrem um conjunto de habilidades que correspondam a ter aprendido aquele conceito, tais com identificar, reconhecer, classificar, descrever e comparar objetos ou idéias. Da mesma forma, para acompanhar o desenvolvimento dos alunos quanto à aprendizagem de um princípio, deve-se ser capaz de observar se os alunos desenvolveram as habilidades que correspondem a aprender um princípio. O mesmo ocorre para se avaliar a aprendizagem de um procedimento.

Gostaríamos de observar que a avaliação das atitudes dos alunos foi feita através da observação e do acompanhamento dos professores, durante o desenvolvimento do processo de ensino. Pois, como afirmam Nieda e Macedo (1997), nada garante que alguém que aprendeu uma atitude vá utilizá-la em seu dia a dia, pois existem vários fatores que fazem com que uma pessoa, diante de uma determinada situação, atue de uma certa maneira e não de outra. Portanto, conhecer uma atitude, entendendo a necessidade de sua existência e as razões sociais, culturais e científicas em que tal atitude se apóia, não é suficiente para afirmar que ela será usada.

Buscando uma síntese, podemos dizer que para cada um dos três eixos das dimensões pedagógicas deveremos buscar avaliações que consigam acompanhar o desenvolvimento das habilidades correspondentes a cada um deles.

Aqui, temos que fazer a ressalva de que o processo de avaliação deve ser considerado com uma certa dose de subjetividade, mas mantendo em mente que nenhum tipo de avaliação, muito menos a tradicional prova escrita, deixa de ser subjetiva.

Além do mais, seria muito pretensioso de nossa parte acreditar que possamos conferir julgamentos sem qualquer pré-concepção a respeito do processo.

Com tudo isto em vista, vamos aos resultados em bruto obtidos, e à sua análise.

5.3 Os Resultados Obtidos

. As atividades do Aquecedor a Gás foram desenvolvidas em dois dias.

No primeiro dia, era realizado:

- Roteiro Individual de cada aluno
- Roteiro de Grupo, de cada quatro alunos
- Experimentação de Campo com o Aquecedor
- Folha de Dados Obtidos
- Primeira Solução do Problema

As atividades do primeiro dia terminavam neste ponto. Em casa, os alunos iriam fazer o Pré-Memorial de Cálculos, preparando-se para o segundo dia de atividades.

No segundo dia, fazia-se:

- Nova Experimentação de Campo com o Aquecedor
- Memorial de Cálculos
- Solução Final do Grupo
- Carta aos Donos da Academia de Ginástica

Esta última carta era a que encerrava as atividades. Podia-se então observar diferenças interessantes entre os conhecimentos, as habilidades e as atitudes demonstradas pelos alunos quando da elaboração do primeiro documento, o Roteiro Individual, e do último, a citada Carta. Não no item Conhecimento, já que estes alunos haviam sido previamente aprovados em outras disciplinas, que lhes havia fornecido o arcabouço teórico necessário. Neste item, não havia diferenças tão significativas de aprendizado entre o começo e o fim da atividade desenvolvida.

Depois de encerradas todas as atividades, os três professores envolvidos se

reuniram, para fazer a avaliação dos alunos.

Os quadros 4 a 6, a seguir, apresentam os resultados das produções dos alunos, na situação-problema Aquecedor a Gás.

Conhecimentos Individuais:

Aluno	1ª. Aula	2ª. Aula
	Avaliação do Roteiro Individual	Avaliação da Carta Individual
A1	S	N
A2	S	S
A3	S	S
A4	S	S
A5	N	S
A6	I	S
A7	S	S
A8	S	S

Legenda:

S = Suficiente: tem conhecimento prévio da teoria envolvida na atividade (Termodinâmica, Transferência de Calor, Mecânica dos fluidos e Sistemas Térmicos)

M = Mais que suficiente: Tem conhecimento prévio superior das disciplinas básicas citadas acima

I = Insuficiente: Tem conhecimento prévio inferior das disciplinas básicas citadas acima (p. ex., não sabe fazer um balanço de energia)

N = Não fez / não temos informação

Quadro 4: Avaliação das ações dos alunos na atividade do aquecedor a gás quanto ao conhecimento internalizado

Habilidades Individuais:

Aluno	1ª. Aula	2ª. Aula
	Avaliação do Roteiro Individual	Avaliação da Carta Individual
A1	S	N
A2	S	M
A3	I	S
A4	S	S
A5	N	S
A6	I	S
A7	I	I
A8	S	S

Legenda:

S = Suficiente: Tem facilidade em leitura da instrumentação; redação adequada; desenvoltura na exposição de suas idéias; conhecimentos básicos da metodologia da propagação de erros experimentais.

M = Mais que suficiente: Além das habilidades acima, tem conhecimento e prática de utilização nas atividades de informática; tem conhecimento de automação e controle.

I = Insuficiente: Não conhece instrumentação, não conhece propagação de erros, tem dificuldade com redação e/ou expressão verbal.

N = Não fez / não podemos avaliar

Quadro 5: Avaliação das ações dos alunos na atividade do aquecedor a gás quanto às habilidades do aluno

Atitudes Individuais:

<u>Aluno</u>	<u>1a. Aula</u>	<u>2a. Aula</u>
	<u>Avaliação do Roteiro Individual</u>	<u>Avaliação da Carta Individual</u>
<u>A1</u>	<u>I</u>	<u>N</u>
<u>A2</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>A3</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>A4</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>A5</u>	<u>I</u>	<u>S</u>
<u>A6</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>A7</u>	<u>I</u>	<u>S</u>
<u>A8</u>	<u>S</u>	<u>S</u>

Legenda:

S = Suficiente: Mostrou motivação e interesse pela atividade, procurou trabalhar em grupo e respeitou a opinião dos colegas.

M = Mais que suficiente: Além das atitudes acima, motivou os colegas, procurou apresentar novas possibilidades de desenvolvimento da atividade.

I = Insuficiente: Mostrou-se desmotivado, não participativo, não trabalhou em equipe. Autoritário, ou apático.

N = Não fez / não podemos avaliar

Quadro 6: Avaliação das ações dos alunos na atividade do aquecedor a gás quanto às atitudes do aluno

5.4. Conclusões e Comentários

Inicialmente, as atividades não foram muito bem recebidas pelos alunos. Conforme citado no parágrafo 4.1, durante a Reunião Preparatória feita ainda antes do início das atividades em classe, os alunos demonstravam um certo enfado, um ar de quem “já sabe tudo a respeito”. Era até compreensível para nós: tratava-se de alunos do 10º (e último) semestre do Curso de Engenharia, e eles já haviam visto toda a teoria a respeito deste assunto em outras disciplinas. Mesmo propondo um ensino diferenciado, onde eles iriam tentar solucionar problemas próximos dos que ocorrem na realidade das indústrias, os alunos não faziam perguntas, mantendo um pesado silêncio e mostrando falta de interesse. Para eles, esta disciplina era apenas para “cumprir tabela”, ou seja, não havia muito que esperar dela nem da participação dos alunos nela.

Mas, à medida que os trabalhos foram se desenvolvendo, as atitudes desses alunos mudaram radicalmente. Houve um envolvimento cada vez maior deles, mostrando que conseguimos aproximar a situação proposta ao trabalho de investigação. Com efeito, na Reunião de Avaliação realizada dois meses depois, podia-se notar uma total mudança de atitude. O aluno A4 disse que *ensino desse tipo deveria ser dado durante todo o Curso de Engenharia, e não só numa disciplina*. Todos os alunos disseram que aprovaram. O aluno B2 disse que *(nas outras disciplinas) os alunos só aprendem teoria, e de maneira passiva, e só isso é que é exigido deles*.

O Professor Responsável começou então a falar sobre as notas que cada um tinha recebido, no primeiro bimestre. Os alunos não se mostraram interessados (!), continuavam comentando entre si as diferenças desse tipo de ensino com o tradicional.

Era realmente de se admirar. Aqueles alunos foram criados numa cultura chamada por Barros (2002) de Engenharia de Sobrevivência, de só lutar por notas, e apenas por elas. Vinda deles, aquela posição foi surpreendente. Os alunos simplesmente não estavam interessados em saber suas notas, e sim em saber mais sobre essa nova metodologia de aprendizagem.

Notamos que, mesmo estando próximos dos alunos e controlando o processo, ainda há estudantes que mantêm uma postura inadequada e que não conseguem desenvolver os procedimentos de forma conseqüente. Por exemplo, o aluno A1 mostra produção insatisfatória no que diz respeito à atitude na redação da carta resposta solicitada. Este aluno tinha tentado liderar o grupo, e não o conseguindo, mostrou-se desmotivado. Apesar da interferência de um dos professores, ele não participou do resto da atividade como os outros alunos do seu grupo. Manteve-se distante, alheio ao andamento do trabalho do grupo.

Aqui, o aluno está perdendo em autonomia. Com efeito, o trabalho cooperativo pode ser fundamental para o desenvolvimento da autonomia. Entendemos autonomia não como isolamento ou independência aos estímulos externos, mas sim como um princípio funcional segundo o qual um estímulo externo pode ser ou não observado pelo sujeito, dependendo da sua estrutura assimiladora. *As demandas autônomas são essenciais para produzir a real atividade intelectual capaz de produzir as transformações estruturais geradoras do novo equilíbrio ou a nova coerência. (...) Portanto, para Piaget, ser autônomo significa poder construir, cooperativamente, um sistemas de regras morais e operatórias necessárias à manutenção das relações baseadas no respeito mútuo* (Ramos, 1999).

Mas, com tudo isso, não foi possível avaliar corretamente os conhecimentos e

habilidades desse aluno no final, quando da redação da Carta. Mesmo assim, foi muito importante que a atividade tivesse desvelado essa sua possível deficiência. Como educadores, a partir dessa constatação podemos tomar posição e tentar indicar caminhos para o aluno superar essa deficiência.

Isso mostra a realidade do processo, pois nem sempre o professor consegue orientar todos os seus alunos a uma atitude participativa, investigativa e solidária com o grupo. Isto vem de encontro à questão do conflito nos alunos. Ou seja, a forma de regulação desencadeada por negação ou negligência do conflito. Isto porque nem toda perturbação gera uma regulação.

Durante a execução das atividades, o aluno A2 *perguntou o que é realmente que vocês estão querendo que a gente faça?* Esta pergunta denota uma certa insegurança e ansiedade do aluno, de resto tão grande quanto a ansiedade de todos os outros. Para tranquilizá-lo, explicamos que se tratava de um novo modo de se ensinar Engenharia, com situações-problema tão realistas quanto possível, com trabalho em grupo e soluções em aberto. Os professores seriam, nesta nova metodologia, apenas diretores de pesquisas, enquanto os alunos seriam como que pesquisadores novatos. O aluno pareceu um pouco mais tranquilo com esta resposta. Podemos refletir o quanto é difícil não ensinar na maneira tradicional, por meio de modelos ou paradigmas. Há sempre desconfiança ou desconforto por parte do aluno porque, muitas vezes, ao longo de sua história de aprendizagem, coube a ele apenas memorizar e exercitar conteúdos já definidos, levando-o à reprodução e não ao exercício de criação.

O aluno A3 perguntou qual a precisão dos instrumentos de medida de vazão que estavam utilizando. Isto demonstrou uma insuficiência de domínio de habilidades que, a esta altura de seu curso de Engenharia (10º semestre), já não era mais de se esperar. Esses alunos já haviam tido uma disciplina chamada Instrumentação, onde

aprenderam, ou deveriam ter aprendido, justamente isso. É aqui se nota com nitidez a ausência do que Gil Pérez chama de aprendizado significativo: *para haver uma aprendizagem significativa, deve-se levar em consideração as idéias prévias (ou pré-concepções ou concepções espontâneas ou idéias intuitivas) dos estudantes* (Gil Pérez, 1993). Provavelmente, na disciplina citada não houve um processo de ensino-aprendizagem que tivesse partido das concepções espontâneas dos alunos.

É importante notar também que, durante o processo, o professor e o monitor tiveram que parar as atividades algumas vezes para conversar com os alunos para estes perceberem que procedimentos usados em cursos tradicionais não deveriam ser utilizados nessa atividade, como no caso de apenas um ou outro aluno em cada grupo fazerem o trabalho e os demais apenas darem os nomes, ou mesmo no caso de se copiar resultados de alunos dos anos anteriores. Caso contrário o processo não seria completado.

Esse tipo de resistência é muito comum em situações em que se busca introduzir inovações, pois os alunos estão muito acostumados a cursos tradicionais e sentem-se receosos a se expressarem de forma direta e a participar ativamente dos processos.

Mais ainda: segundo Meirieu (1998), a aprendizagem, diante de uma dificuldade, é quase sempre a solução mais onerosa. É muito mais fácil não aprender, recorrer a alguém que resolverá o problema por você, buscar uma solução já pronta. E não podemos criticar esse procedimento que, em vários sentidos, é o motor de nossos progressos técnicos. Não estaríamos completamente paralisados se, em nosso dia a dia, sempre tivéssemos que aprender tudo, se não pudéssemos nos dirigir a especialistas que, estes sim, sabem? Acaso não utilizamos e trocamos objetos manufaturados, ignorando todas as aprendizagens que tornaram possível sua

elaboração? É por isso que não devemos atribuir à má vontade de nossos alunos o fato de tentarem sempre resolver um problema sem aprender. *Não devemos estranhar o fato de eles procurarem sistematicamente o “amigo que já sabe fazer”, o “relatório já pronto”. É preciso, antes, questionar se a própria estrutura da situação pedagógica está bem adequada aos objetivos de aprendizagem desejados* (Meirieu, 1998).

Tudo isto indica que cuidados especiais devem ser tomados por qualquer professor que deseje introduzir situações-problema em suas disciplinas.

Também se voltarmos a olhar as habilidades e competências propostas pelas Diretrizes curriculares para os curso de Engenharia (BRASIL, 1999), acreditamos que conseguimos cumprir em boa parte algumas delas. Como por exemplo:

- Habilidades 1, 5, 6 e 8 (Aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia, identificar, formular e resolver problemas de engenharia, desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas e Avaliar criticamente ordens de grandeza e significância de resultados numéricos), quando os alunos necessitam operar os equipamentos da bancada e testar hipótese ou
- Habilidade 3 (Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos), quando os alunos necessitam de avaliar os dispositivos.
- Ainda as habilidades 4 e 5 (Planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia e Identificar, formular e resolver problemas de engenharia), quando solicitamos que eles buscassem avaliar os equipamentos para encontrar a melhor solução
- Habilidade 11 (Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica), quando necessitaram apresentar os resultados para profissionais

não técnicos.

Além disso, as Diretrizes Curriculares recomendam explicitamente: *os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir um perfil profissional compreendendo uma sólida formação técnico científica e profissional geral que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas* (Brasil, 2002) (o grifo é nosso).

Também o Fórum Nacional de Pró-Reitores de Graduação das Universidades Brasileiras (Forgrad - 1999) faz recomendações na mesma direção: *Os cursos de graduação devem propiciar a oferta de referenciais teórico-básicos que possibilitem o trâmite em múltiplas direções, instrumentalizando o indivíduo para atuar de forma criativa em situações imprevisíveis* (Forgrad, 1999) (o grifo é nosso).

Analisando os anais do COBENGE dos últimos anos é possível observar a preocupação de um grande número de pesquisadores com o processo ensino-aprendizagem. No Cobenge 2002, por exemplo, diversos autores se colocaram neste sentido: *no ensino moderno deve-se estimular a análise, valorizar a criatividade e o questionamento, apresentar o conhecimento de forma interdisciplinar, buscar integração com a pesquisa e aproximação com a realidade, entre outras* (Barbejat e Leta, 2002).

Ou então, como recomenda Lopes, *(torna-se necessária) maior exposição dos alunos a questões da atualidade referentes às próprias profissões para as quais estão sendo preparados* (Lopes, 2002).

Recomendações como estas se encaixam perfeitamente na proposta de se trabalhar com situações-problema.

Finalizando, acreditamos que o modelo de ensino apresentado pode ser uma boa alternativa para inspirar outros professores universitários a fazerem mudanças nos seus cursos, pois a atividade que apresentamos não foi uma inovação mirabolante e sim uma releitura de uma experiência já existente em uma Faculdade de Engenharia Mecânica de uma Universidade pública da região de Campinas.

Nosso trabalho orientou-se a contextualizar a experiência já existente, de fechada e com etapas pré-determinadas a uma atividade aberta, que possibilitou o desenvolvimento dos conteúdos mínimos da disciplina em questão e de outros conhecimentos e habilidades, além de posturas profissionais, que são mais necessárias ao futuro engenheiro.

Não partimos anulando aquilo que já traz consigo o aluno, suas pré-concepções. O que fizemos foi, a partir delas, construir novas concepções que ultrapassam e corrigem as precedentes, provocando assim uma melhoria nos esquemas de compreensão dos nossos alunos.

Este trabalho só foi possível, e permitirá reaplicações profícuas, a partir de uma mudança da posição epistemológica do professor, cuja crença sobre aprendizagem se apóia em um aluno ativo, construtor do seu próprio saber.

Como aponta Macedo (1994), essa modalidade de ensinar parte da ação, da experiencição, da reflexão, da análise feita pelos alunos antes da síntese. Os modelos, os paradigmas defendidos em um ensino tradicional, têm como ponto de partida a formalização, o que deixa pouco espaço para a criação. No entanto, alcançamos o mesmo ponto - a formalização dos conhecimentos no campo da Engenharia - porém permitindo todo um processo construtivo do aluno.

6. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, N., SILVA, D., SANCHEZ, C. G. e BARROS FILHO, J. (2002-a).
Avaliação de uma Proposta de Ensino de Engenharia Térmica e de Fluidos sob
Bases Construtivistas. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia -
COBENGE.

ALMEIDA, N., SILVA, D., SANCHEZ, C. G. e BARROS FILHO, J. (2002-b)
Avaliação de uma Aplicação de uma Metodologia de Ensino Construtivista na
Engenharia Térmica e de Fluidos. **V Encontro de Pesquisa em Educação da
Região Sudeste**.

ALMEIDA, N. BARROS FILHO, J. SILVA, D. (1999). Avaliação dos Alunos nos
Cursos de Engenharia: Técnicos Que Solucionam Apenas Situações
Padronizadas ou Engenheiros Que Criam Soluções Práticas Para Novas
Situações? Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - **COBEM**.

BARBEJAT, M. E. P.R., e LETA, F. R. (2002). Professor e Aluno: Quem É Quem?
Anais do **XXX Cobenge**.

BARBERÁ, O. e VALDÉS, P. (1996). El Trabajo Práctico en la Enseñanza de las
Ciencias: Una Revisión. **Enseñanza de las Ciencias**. 14 (3): 365-379

BARROS FILHO, J. e SILVA, D. (2001). Algumas Reflexões sobre a Avaliação dos Estudantes no Ensino de Ciências. **Ciência & Ensino**. n. 9, p. 14-17.

BARROS FILHO, J. (2002) Avaliação da Aprendizagem e Formação de Professores de Física para o Ensino de Nível Médio, **Tese de Doutorado**, FE/Unicamp.

BAZZO, W. A. (1999) A pertinência de abordagens CTS na educação tecnológica. In: Linsingen, I. V. *et al* (org.). **Formação do engenheiro**. Florianópolis: Editora da UFSC.

BRANDÃO, L. P. M.; LEITE, L. S. (1996). Revendo papéis no processo educativo. Anais do **XXIV Cobenge**.

CABRAL ET AL, A., NICK, E. (1979). **Dicionário Técnico de Psicologia**. Editora Cultrix. 2ª Edição.

CASTRO, A.A.D. (2001) Ensino no contexto da Educação Superior. In: Assis, ^o Z. M. *et al* (org). **Um Olhar Construtivista Sobre a Educação**. Campinas, SP: Ed. Lab. Psicologia Genética da FE/Unicamp, pag. 127 a 139.

COBERN, W. W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. **Science Education**. 80(5): 579-610.

COLL, C. (1992) **Psicología y Currículum**. 2ª Impr., Barcelona, Ediciones Paidós.

DRIVER, R. (1986). Psicología Cognoscitiva y Esquemas Conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las Ciencias**, 4(1): 3-15.

DUROZOI, G., ROUSSEL, A. (1993). **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: Papirus.

FORGRAD (1999) – Fórum Nacional de Pró-Reitores das Universidades Brasileiras.
Plano Nacional de Graduação.

FORGRAD (2000) – Fórum Nacional de Pró-Reitores das Universidades Brasileiras.
Plano Nacional de Graduação.

GARCÍA, C. M. (1999). Estudio sobre estrategias de inserción profesional en Europa. **Revista Iberoamericana de Educación**. 1(19): 101-143.

GIL PÉREZ, D. (1983) Tres Paradigmas Basicos En La Enseñanza De Las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, vol. 1, n.2, p. 26-33.

GIL PÉREZ, D. (1993) Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al Desarrollo de um Modelo de Enseñanza/Aprendizaje como Investigación.
Enseñanza de las Ciencias, vol. 11, n.2, p. 197-212.

GIL PEREZ, D. (1996). New trends in Science Education, **Intl. J. Sci. Education**, vol. 18, No 8, 889-901.

GIL PÉREZ, D., CARRASCOSA, A. J., CARRÉ, A. D., FURIÓ, C., RÓMULO, G., DUCH, A. G., GONZÁLEZ, E., GUISASOLA, J., TORREGROSA, J. M., CARVALHO, A. M. P., SALINAS, J., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. (1999-a). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? **Enseñanza de las Ciencias**. 17(3): 503-512.

GIL PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., TORREGROSA, J. M., GUISASOLA, J., GONZÁLES, E., CARRÉ, A. D., GOFFARD, M., CARVALHO, A. M. P. (1999-b). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? **Enseñanza de las Ciencias**. 17(2): 311-320.

GOMES, J. R. P. (1998). O Bom Professor: Aulas Motivantes. Anais do **XXVI Cobenge**.

HALBWACHS, F. (1981). Apprentissage des Structures et Apprentissage des Significations. **Revue Française de Pedagogie**, no 57, pp. 15-21.

LONGUINI, M. D., NARDI, R. (2000). Construção de uma seqüência de atividades de ensino sobre o conceito de pressão atmosférica numa abordagem construtivista: a busca de uma mudança de postura do futuro professor de física. *In: Coletânea da Terceira Escola de Verão Para Professores de Prática de Ensino de Física, Química, Biologia e Áreas Afins*. 124-127

LOPES, J. A. (2002). A Formação Do Profissional da Área de Exatas e das Engenharias à Luz das Exigências de uma Sociedade em Constantes Transformações: da Necessidade de um Projeto Pedagógico Consistente. Anais do **XXX Cobenge**.

LÜCKE, M. e ANDRÉ, M.E.D.A. (1986). Pesquisa em Educação: abordagens **qualitativas**. São Paulo: EPU.

MACEDO, L. (1994). **Ensaio Construtivistas**. São Paulo: Casa do Psicólogo.

MACEDO, L., et al. (2000). **Aprender com Jogos e Situações-Problema**. Porto Alegre: Artes Médicas.

MEC (2002) - Ministério da Educação e do Desporto. Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia. Disponível em: <http://www.mec.gov.br/Sesu/planograd.shtm>. Acesso em: 21/04/2002.

MEIRIEU, M. (1998). **Aprender... Sim, Mas Como?** 7ª ed. Porto Alegre: Artes Médicas.

MORALES, M. e MORENO, M. (1993). Problema en el Uso de los Terminos Cualitativo/ Cuantitativo en la Investigación Educativa. **Investigación en la Escuela**, 21: 149-157.

NIEDA, J., MACEDO, B. (1997). **Un Currículo Científico para Estudiantes de 11 a 14 años**. Madrid: Unesco e OEI.

OSBORNE, J. (1996). Beyond Constructivism. **Science Education**. 80(1): 53-82.

PARRAT, S. e TRYPHON, A. (1998). **Jean Piaget: Sobre a Pedagogia – Textos Inéditos**. S. Paulo: Casa do Psicólogo.

PATTON, M.Q. (1990). **Qualitative Evaluation Methods**. 2^a ed. London: Sage.

PIAGET, J. (1976). **A Equilibração das Estruturas: Problema Central do Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Zahar.

PIAGET, J. (1983). Psicogênese dos conhecimentos e seu significado epistemológico. In: Piatelli-Palmarini, M. (org.). **Teorias da Aprendizagem: o Debate Entre Jean Piaget e Noam Chomsky**. São Paulo, EDUSP.

RAMOS, E. M. F. (1999). O papel da avaliação educacional nos processos de aprendizados autônomos e cooperativos. In: Grinspun, M. P. S. (org.). **Educação Tecnológica-Desafios e Pespectivas**. São Paulo: Cortez.

RIBAS, P. A. V. ((1997) Projeto de Pesquisa: A Percepção dos Professores de Engenharia Sobre a Processo de Ensino-Aprendizagem. Anais do **XXV Cobenge**.

ROWELL, P. M. *et al.* (1997) Problem Solving Through Technology: An Interpretative Dilemma. **The Alberta Journal of Educational Research**. Vol.XLIII, N. 2/3: 86-98.

SACADURA, J. F. (1999) A formação dos engenheiros no limiar do terceiro milênio. In: Linsingen, I. V. *et al* (org.). **Formação do engenheiro**. Florianópolis: Editora da UFSC.

SALUM, M. J. G. (1999) Os currículos de engenharia no Brasil- estágio atual e tendências. In: Linsingen, I. V. *et al* (org.). **Formação do engenheiro**. Florianópolis: Editora da UFSC.

SILLS, D. L. (1974). **Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales**. Vol. 2. Editora Aguilar.

SILVA, D. (1995). Estudo das Trajetórias Cognitivas de Alunos no Ensino da Diferenciação dos Conceitos de Calor e Temperatura. **Tese de Doutorado**. São Paulo, Faculdade de Educação da USP.

SILVA, D., BARROS FILHO, J. (1997-a). A busca de coerência com os preceitos construtivistas no processo de avaliação da aprendizagem. In: Atas do Foro de la Academia de Ciencias de América Latina: **Enseñanza de la Educación Básica en América Latina: encuentro de Educadores e Invertigadores Científicos**. Caracas, Venezuela.

SILVA, D., SANCHEZ, C. G. E ALMEIDA, N. (1999b). Ensino de Engenharia e Ensino de Ciências das Disciplinas Experimentais: Proposta de Ações Pedagógicas. **COBEM**.

SILVA, D. e BARROS FILHO, J. (1997-c). Evaluación de Situaciones de Enseñanza: Actividades Coherentes con los Apportes Constructivistas. In: Atas do Fórum: **"Enseñanza de la Ciencias en la Educación Básica de América Latina: Encuentro de Educadores e Investigadores Científicos"** da Academia de Ciencias de America Latina - ACAL – Caracas, Venezuela.

SILVA, D. *et al* (1999-d). Resgatando no Passado Novas Perspectivas para o Ensino de Engenharia. **COBEM**.

SILVA, D., BARROS FILHO, J., LACERDA NETO, J. (2000) Atividades de Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) para as disciplinas dos Cursos de Administração de Empresas. **Revista Álvares Penteado**. Vol. 02, número 04: 47-68.

WHEATLEY, G. H. (1991). Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. **Science Education**. 75(1): 9-21

WHITE, T.R. e GUNSTONE, F.R. (1989). Metalearning and Conceptual Change.
International Journal of Science Education, 11, pp. 459-463.

ANEXO 1 – Descrição Tradicional dos Experimentos

A seguir, o manual de operação dos equipamentos utilizados na Disciplina Laboratório de Sistemas Térmicos, instruindo pormenorizadamente o que fazer, sem dar nenhuma margem de construção crítica ao aluno:

TEXTOS DE LABORATÓRIO

EXPERIÊNCIAS

1. CÂMARA DE COMBUSTÃO CONTÍNUA
2. SISTEMA DE PROPULSÃO - RANJET
3. SISTEMA DE PROPULSÃO - PULSE JET
4. TROCADOR DE CALOR DE TUBO DUPLO
5. MEDIDA DA EFICIÊNCIA DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA A GÁS
6. CALORÍMETRO A GÁS
7. CICLO DE COMPRESSÃO A VAPOR
8. REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

Professores:
ARAÍ AUGUSTA BERNÁRDEZ PÉCORA
CAIO GLAUCO SANCHEZ
JUDITH Z. HALÁSZ

Março/95

INSTRUÇÕES GERAIS

1. Para a sua segurança e para o bom andamento da experiência, leia com atenção as folhas de teste, **antes** de operar o equipamento;
2. No início da aula ler a pressão e a temperatura ambiente;
3. Quando trabalhando com **GÁS** ao primeiro sinal de perigo, feche a válvula de gás localizada junto a rede de distribuição;
4. **É PROIBIDO FUMAR** dentro dos laboratórios;
5. Qualquer problema referente a montagem dos equipamentos deve ser tratado com a pessoa responsável;
6. Os instrumentos adicionais utilizados devem ser entregues ao Técnico responsável, ao final da experiência;
7. Terminado o conjunto de experiências, o relatório correspondente deve ser entregue no início da segunda aula subsequente;
8. Os relatórios do laboratório deve incluir os seguintes tópicos:
Capa padronizada conforme anexo.

TEXTO: 1. Objetivo

2. Introdução Teórica

3. Lay-Out da Montagem

4. Procedimento

5. Dados Obtidos (Observações e Leituras)

6. Cálculos e Resultados (incluir gráficos, tabelas, etc.)

7. Discussões, Comentários e Conclusão

8. Dificuldades Experimentais Encontradas

9. Referências Bibliográficas.

9. Deixar a montagem em ordem, pronta para a próxima experiência;
10. Preparar antes da aula a tabela para anotação dos dados a serem obtidos. Antes de deixar o laboratório, discutir com o instrutor os dados obtidos. Deixar cópia dos dados.
11. A duração das aulas é prevista para a realização dos ensaios e experiências, os relatórios devem ser preparados em casa.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENG^a TÉRMICA E DE FLUIDOS

LABORATÓRIO EM 959

EXPERIÊNCIA: _____
Nº: _____

DATA(s) DA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO: _____

EQUIPE:

RA	NOME
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

BIBLIOGRAFIA

1. BEER, J.M. & CHIGIER, A., «Combustion Aerodynamics», Appl. SCI, 1974.
2. BEER, J.M., & THRING, M.W., «Industrial Flames», Edgard Arnold Publ., 1972.
3. DOEBELIN, E.O., «Measurement Systems Application & Design», Ed. McGraw-Hill.
4. FRANCIS, W.E., «Fuels & Fuel Technology», Pergamon Press, Vol. 1 e 2, 1970.
5. Gas Engineers Handbook, Fuel Gas Engineering Practices, Ind. Press, N. York, 1965.
6. Handbook of Butane, Propane & Gases, Chilton Company, 1962, 4ª Edição.
7. HOLMAN, J.P., «Experimental Methods for Engineers», Ed. McGraw-Hill, N. York, 1974.
8. ISMAIL, K.A.R., «Fenômenos de Transferência - Experiências de Laboratório», Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1982.
9. KATZ, D.L. et al., «Handbook of Natural Gas Engineering», McGraw-Hill, N. York, 1959.
10. KEENAN & KAYE, «Gas Tables», John Wiley & Sons Inc., N. York, USA, 1948.
11. KERREBROCK, J.L., «Aircraft Engines and Gas Turbines», MIT Press Inc., USA, 1977.
12. KREITH, F., «Princípios de Transmissão de Calor», Ed. Edgard Blucher.
13. LUIS, A.C.S., «Termodinâmica Macroscópica», Ed. Tecno-Científico.
14. MESSERSMITH, C.W. et al., «Mechanical Engineering Laboratory, John Wiley & Sons Inc., N. York, 1958.
15. PERA, H., «Geradores de Vapor de Água», EPUSP, 1966.

16. SHAMES, I.H., «Mecânica dos Fluidos», Vol. II, Ed. Edgard Blucher, 1976.
17. SHAPIRO, A.H., «The Dynamics & Thermodynamics of Compressible Fluid Flow», The Ronald Press, Co.
18. SMITH, G.G., «Gas Turbines and Jet Propulsion», ILIFFE & Sons Ltd., London, 1955.
19. STREETER, V.L., «Mecânica dos Fluidos» - McGraw-Hill.
20. VAN WYLLLEN, G.J. & SONNTAG, R.E., «Fundamentos de Termodinâmica Clássica» Ed. Edgard Blucher, Ltda.
21. WORSHOP, B.L. & FLINT, H.T., «Curso Superior de Física Prática», Tomo 1, Ed. Univ. de Buenos Aires, 1964.
22. NORMAS:
MB-133-ABNT - Determinação de Poder Calorífico de Gases Combustíveis.

EXPERIÊNCIA Nº 1 - CÂMARA DE COMBUSTÃO CONTÍNUA

1. OBJETIVO

Avaliar o desempenho energético de uma caldeira. Calcular sua eficiência térmica. Efetuar estudos de combustão: efeito da relação ar/combustível na transferência de calor, na temperatura de gases de escape, queima incompleta, etc., para combustíveis líquidos e gasosos.

2. TEORIA

O equipamento a ser utilizado nesta experiência é mostrado na Figura 1.1.

Para estudarmos o efeito da relação ar/combustível precisamos conhecer a composição do gás a ser usado. Como exemplo, utilizaremos neste resumo da teoria, o propano.

a) **Reação da queima de propano.**



Massa molecular $\text{C}_3\text{H}_8 = 44$

Considerando gases perfeitos, precisamos portanto, de $5 \times 4,76$ moles de ar para queimar 1 mol de C_3H_8 estequiometricamente, ou seja, uma relação ar/combustível de:

Relação A/C massa: 15,6.

Portanto, nesta relação teremos a máxima temperatura de chama. Se a relação A/C for maior ou menor que a estequiométrica, a temperatura de chama deverá cair.

b) **O estudo do efeito na transferência de calor realiza-se com o balanço de massa e energia para cada relação ar/combustível.**

O calor liberado pela queima da mistura de gases pode ser calculado conhecendo-se o PCI do gás.

Deve-se lembrar que nem sempre todo gás injetado na câmara será queimado, devendo-se subtrair a quantidade levada pelos gases de combustão, quando a relação A/C estiver abaixo da estequiométrica.

Pelo princípio de conservação temos:

$$\dot{m}_{\text{ar}} + \dot{m}_{\text{gases combustíveis}} = \dot{m}_{\text{produtos combustão}}$$

$$\dot{m}_{\text{água entrada}} = \dot{m}_{\text{água saída}}$$

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{Q}_{\text{retirado pelos gases combustão}} + \dot{Q}_{\text{retirado pela água de refrigeração}} + \dot{Q}_{\text{retirado pelas paredes}}$$

(i) Calor retirado pelos gases de combustão

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} \cdot cp_{CO_2} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{H_2O} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{CO} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{gases não queimados}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{excesso de ar}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{N_2} \cdot \Delta T$$

onde:

ΔT = temperatura de saída dos gases menos temperatura de entrada do ar

$\dot{m}$ = vazões em massa de cada componente

cp_{CO_2} = 0,203 kcal/kg K

cp_{CO} = 0,249

cp_{H_2O} = 0,455

cp_{N_2} = 0,248

(ii) Calor retirado pela água de refrigeração:

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_{H_2O} \cdot cp_{H_2O} \cdot \Delta T$$

onde:

cp_{H_2O} = 1 cal/g° C

$\dot{m}_{H_2O}$ = vazão de água

ΔT = diferença entre as temperaturas de saída e entrada de água

(iii) O calor retirado pelas paredes da câmara será desprezado.

Portanto,

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

Já o calor gerado pode ser obtido pelo PCI do combustível:

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{m}_c \cdot \text{PCI}$$

$\dot{m}_c$ = fluxo de massa de combustível utilizado

PCI = poder calorífico inferior do combustível utilizado

Portanto a relação fica:

$$\dot{m}_c \text{PCI} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

ou, simplificadamente:

$$\dot{m}_c \text{PCI} = (\dot{m}_{\text{comb}} + \dot{m}_{\text{ar}}) cp_{\text{gases}} \Delta T_{\text{gases}} + \dot{m}_{H_2O} cp_{H_2O} \Delta T_{H_2O}$$

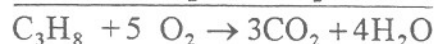
onde:

$$cp_{\text{gases}}: 0,25 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$$

A eficiência térmica pode ser calculada como:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot cp_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T}{\dot{m}_c \cdot \text{PCI}}$$

- c) Para estudarmos o efeito na composição dos gases temos que lembrar que quando a combustão não é completa a oxidação em CO_2 deve ser subdividida em 2 semi-reações.



Nem todo CO no entanto é oxidado até CO_2 , havendo uma quantidade residual que sai com os gases de descarga.

A composição dos gases de escape pode ser determinada com o Orsat.

3. PROCEDIMENTO

3.1 *Procedimento de Ignição: Combustível Gasoso.*

1. Ambas as variações dos fluxos dos combustíveis líquidos e gasosos são controlados pelas válvulas no painel do instrumento. O fluxo de ar é controlado pelo ajustamento do nível de controle no queimador.
2. Garanta que as válvulas de controle do líquido e do gás no painel do instrumento estejam desligadas.
3. Garanta que haja suficiente querosene ou gás para o programa de teste. Informe-se com o Técnico.
4. Ajuste os botões do manômetro no lado do painel de controle do combustível para dar zero nas leituras dos manômetros de fluxo de massa de ar e pressão do combustível gasoso.
5. Verifique o suprimento de água de refrigeração na câmara e ligue a bomba assegurando um fluxo adequado. O nível de suprimento de água na câmara deve estar cheio.
6. Ajuste o fluxo de água para aproximadamente 1500 kg/h controlando-o pela válvula do painel e pela válvula de drenagem.

7. Com o nível de controle de ar fechado na posição nº 1, ligue o suprimento da corrente de ar. Quando o motor alcançar a velocidade de operação abre-se a válvula de suprimento do ar para a posição nº 8 e verifique o fluxo de massa. O fluxo máximo deve ser maior que 170 kg/h e o fluxo mínimo deve ser menor do que 50 kg/h.
8. Abre-se o nível de controle do suprimento do ar do ventilador por 2 minutos para purgar a unidade. **Sob nenhuma condição se deve permitir que combustível não queimado siga para o coletor da câmara de combustão e duto de exaustão.**
9. Ligue a ignição no painel. Aperte o botão de ignição e esteja atento ao zumbido da faísca. Solte-o.
10. Mova o nível de controle do ar para a posição nº 1.
11. Comece com o ventilador de ar e ajuste o nível de controle do ar para dar um fluxo de ar de 110 kg/h.
12. Ajuste o indicador da temperatura de saída da água para 80°C.
13. Ligue o suprimento de combustível gasoso e/ou líquido na fonte e na tubulação de entrada.
14. Ligue o relé e verifique se a luz vermelha do indicador de temperatura de saída da água está funcionando.
15. Aperte o botão do reset.
16. Aperte o botão de ignição após ouvir o «clac» da eletroválvula e sustente-o.
17. Abra a válvula de controle do combustível gasoso no painel do instrumento para dar aproximadamente 7 kg/h de GLP. Quando a combustão ficar estável solte o botão de ignição.
18. Caso não se inicie a combustão em 15 segundos, feche o gás, abra todo o ar por 2 minutos e repita a partir do procedimento nº 11.
19. Ajuste o teste às condições requeridas.

3.2 *Procedimento de Ignição - Combustível Líquido*

20. Repita o procedimento de 1 a 19.

21. Gradualmente abra a válvula de controle de combustível líquido enquanto fecha-se a válvula de controle do combustível gasoso. Durante a mudança é importante manter-se a relação ar-combustível.
22. Tendo-se fechado a válvula de controle de combustível gasoso e obtido combustão estável no combustível líquido, ajuste o teste às condições requeridas.

NOTA:- Somente é possível obter-se ignição direta do combustível líquido depois da unidade tiver sido operada e estiver ainda muito quente.

3.3 Procedimento de Fechamento.

23. Desligue as válvulas de combustível no painel do instrumento.
24. Desligue o suprimento de combustível na fonte.
25. Desligue o relé ligado ao painel de instrumento.
26. Assegure que o nível de controle do ventilador esteja na posição nº 8. Purgue a câmara com ar por 2 minutos.
27. Desligue o ventilador do ar e corte o suprimento de eletricidade.
28. Mova a alavanca de controle do queimador para a posição nº 1.
29. Deixe a água de refrigeração fluir por 5 minutos depois do fechamento e antes do desligamento final.

3.5 Requer-se

Com a câmara em operação, variar as razões A/C e observar as variações em suas condições de operação, coletando simultaneamente os gases de exaustão com o Orsat.

Realizar o experimento para a condição estequiométrica e para, pelo menos, mais outras 4 situações diferentes (2 abaixo e 2 acima da relação A/C estequiométrica).

Preparar antecipadamente as reações de combustão e relações estequiométricas de ar/combustão.

O gás utilizado é o GLP. O combustível líquido é o querosene.

4. UTILIZAÇÃO DO ORSAT

Análise de amostra de gases de combustão, determinação das porcentagens de CO , CO_2 , O_2 na câmara de combustão. Veja também o Apêndice 1.

4.1 *Procedimento.*

Coloque no nível indicado as soluções das três provetas de absorção. Conecte o tubo coletor de amostra da câmara à válvula três posições e colete uma amostra de gás, mediante a bombinha de borracha, para dentro da bureta de 100 ml, abaixando a garrafa de nível e girando convenientemente a válvula. Repita, abaixando e levantando a garrafa de nível e abrindo a válvula três posições, de tal modo que se possa certificar que a amostra no aparelho esteja livre de ar. Abaixar a garrafa abaixo do nível zero da bureta e a encha com mais de 100 ml de gás. Feche a válvula com a garrafa de nível ligeiramente acima de zero, solte o gás para a atmosfera até que tenhamos exatamente 100 ml na bureta. A válvula três-posições será mantida fechada agora. Estamos prontos para a análise dos constituintes:

- (i) Dióxido de carbono: abra a válvula da primeira bureta de absorção e passe o gás lentamente por ela, abaixando e levantando a garrafa de nível. Depois de três ou quatro passadas, volte o líquido reagente ao nível e feche a válvula. Coloque o nível do líquido da garrafa junto ao nível do líquido da bureta e faça a leitura. Repita as passadas pelo líquido de absorção até que a leitura seja constante.
A diferença de nível antes e depois da absorção fornece porcentagem de CO_2 presente na mistura.
- (ii) Oxigênio: transfira o gás para a segunda bureta tal como feito para a primeira absorção. Faça a leitura.
- (iii) Monóxido de Carbono: transfira o gás para a terceira bureta de absorção, como nos processos anteriores.

ATENÇÃO:

- Como lidamos com gases quentes, tome cuidado de verificar que a camisa d'água da bureta esteja cheia.
- As soluções devem ser usadas na ordem acima, isto porque o líquido da segunda bureta absorve o CO_2 tão bem como o O_2 , e o da terceira absorve O_2 tão bem como o CO_2 .
- Certifique-se que não há vazamento de gases nas válvulas e tampas do Orsat antes de cada análise.

4.2 *Reagentes.*

- (i) CO_2 : Hidróxido de Potássio (40%). Cor translúcida.
- (ii) O_2 : Pirogálico Alcalino (30%). Cor marrom.
- (iii) CO : Cobre Clorídrico Alcalino. Cor azul.

Garrafa de nível: ácido sulfúrico a 5% com corante cor vermelha.

5. CÁLCULOS E RESULTADOS

Construir gráficos que mostrem a influência da relação ar-combustível na transferência de calor para a água, no calor perdido pelos gases de escape, e na composição dos gases de escape (teórica e experimental) e na eficiência térmica, para os dois combustíveis utilizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 6.1 Pera, H. - Geradores de Vapor de Água - EPUSP.
- 6.2 Handbook of Butane, Propane & Gases - Chilton Company, 1962 - 4ª edição.
- 6.3 Gas Engineers Handbook, The Industrial Press, N. York, 1965.
- 6.4 Francis, W.E., Fuels & Fuel Technology, Vol. 1 e 2, Pergamon Press, 1965.

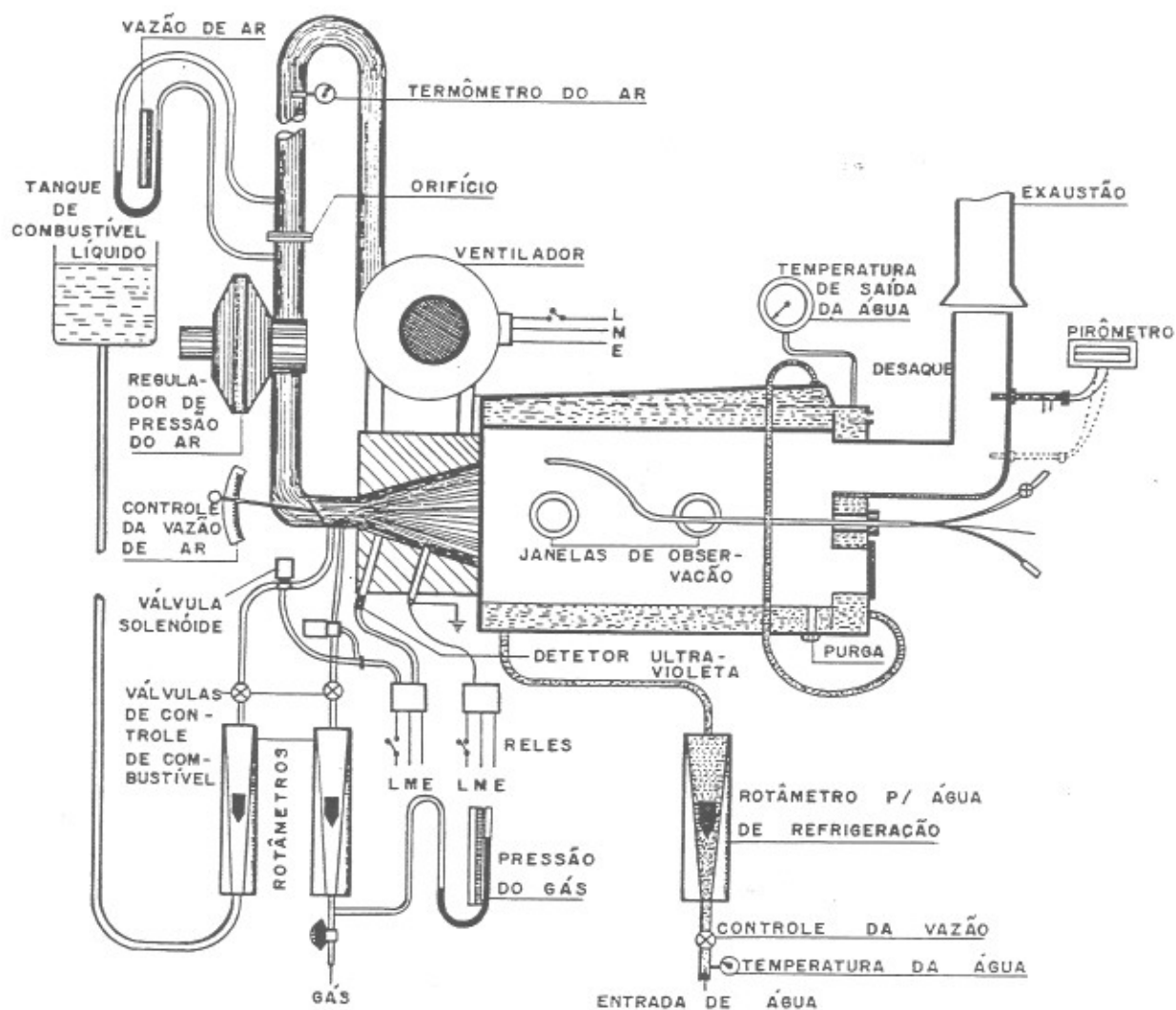


Figura 1.1 - Câmara de Combustão Contínua.

EXPERIÊNCIA Nº 2 - SISTEMA DE PROPULSÃO - RAMJET

1. OBJETIVO

- Verificar os princípios de propulsão de uma máquina térmica;
- Utilizar as relações de escoamentos compressíveis em dinâmica de gases;
- Verificar os princípios de estabilidade de chama na região protegida atrás de um corpo.

2. TEORIA

Turbinas a gás são equipamentos nos quais a energia térmica proveniente da queima de um combustível com ar é convertida em trabalho útil.

O ramjet consiste de uma região de entrada (difusor), uma câmara de combustão e um bocal como esquematizado na Figura 2.1.

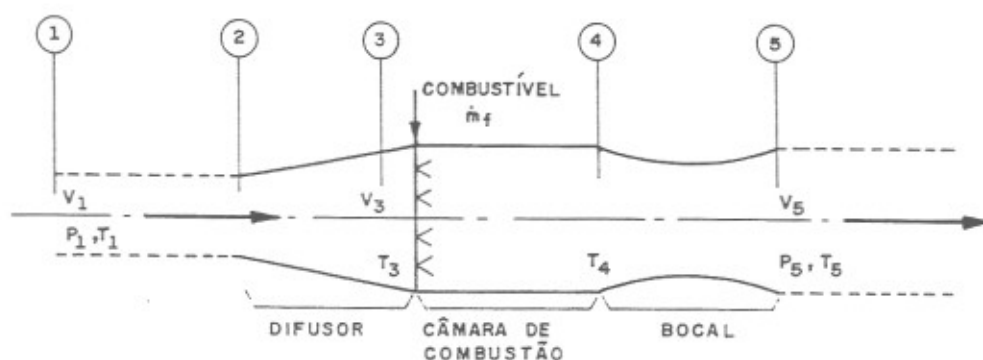


Figura 2.1 - Diagrama Esquemático de um Ramjet.

No difusor a velocidade do ar é diminuída de V_1 até V_3 . A diferença de energia cinética do ar por unidade de massa ($V_1^2/2 - V_3^2/2$) é convertida em energia térmica de tal modo que $T_3 > T_1$ enquanto a pressão aumenta de P_1 até P_3 . Se a velocidade u_3 é pequena comparada com a velocidade do som ($M_3 \ll 1$) a

combustão ocorre aproximadamente à pressão constante e o resultado líquido do processo é o aumento da energia térmica do fluido e o decréscimo de sua densidade. No bocal o fluido é expandido idealmente até a pressão original com a consequente queda na temperatura de T_4 até T_5 e um aumento na energia cinética ($V_5^2/2 - V_4^2/2$). Uma vez que T_4 é maior que T_3 . A diferença entre as energias térmicas das seções 4 e 5 é maior que aquela obtida entre as seções 3 e 1; portanto, a mudança na energia cinética que ocorre no bocal é maior do que a que ocorre no difusor e u_5 é maior que u_1 . A mudança na quantidade de movimento por unidade de massa ($V_5 - V_1$) fornece o impulso.

3. EQUIPAMENTO

Este equipamento foi projetado para ser usado em pesquisas e demonstrações em várias áreas de termodinâmica, dinâmica dos gases, propulsão e jato, combustão e transferência de calor. Nele podem ser determinados: impulso, arraste, coeficientes de impulso e arraste, consumo específico de combustível e eficiência de combustão. Pressões, temperaturas, número de Mach e velocidades nos pontos de maior interesse no equipamento, podem ser também determinados.

4. PROCEDIMENTO

a) Procedimento de partida com combustão.

- 1) Assegure que o sistema em balanço está corretamente balanceado e livre para se mover. Nenhuma Carga deve atuar nas balanças de mola e o braço da balança deve permanecer entre os pontos de equilíbrio sem nenhuma tendência para mover.
- 2) O sistema de ignição deve dar uma boa faísca.
- 3) Veja que o pitot está seguramente preso à catraca de operação e assegure que os ponteiros indicadores estão em linha com o ponto de medição.
- 4) Ligue a água de refrigeração do pitot e assegure-se de que a água está fluindo livremente.
- 5) Antes de abrir a válvula de controle do gás na entrada do aparelho, ligue o motor de suprimento de ar e quando o motor tiver alcançado sua velocidade correta de operação, abra o controlador de ar de modo a dar 15 cm de coluna d'água, no manômetro de controle de velocidade do ar.

- 6) Com o controlador (registro) principal do gás fechado, abra a válvula de corte rápido do gás na entrada do aparelho. A pressão deve indicar 40 psig. A pressão deve ser ajustada na válvula de redução de pressão.
- 7) Ligue o exaustor de ar da sala.
- 8) Acione o botão de ignição e ao mesmo tempo abra o controlador principal do gás (registro) até 40 kg/h, para começar a combustão.
- 9) Progressivamente ajuste o controlador do gás e o controlador de ar até que a condição de equilíbrio da combustão tenha sido alcançada.
- 10) Ajuste para várias condições de operação e em cada caso meça:
 - A pressão total e estática ao longo do eixo da máquina;
 - O empuxo líquido;
 - As pressões de gás;
 - As vazões de ar e de gás;
 - As temperaturas do ar e do gás.
- 11) Para desligar a máquina:
 - Desligue o controlador de gás principal (registro);
 - Desligue a água de resfriamento do tubo de pitot;
 - Finalmente, desligue o suprimento de ar;
 - Em nenhuma hipótese deverão as válvulas do gás serem abertas sem que o ar e a água de resfriamento do tubo de pitot estejam ligados.

b) Procedimento de partida sem combustão.

- 1) Ligue o ventilador de suprimento de ar com a válvula fechada;
- 2) Quando o ventilador atingir rotação, abra a válvula para a condição desejada;
- 3) Ajuste para várias condições de operação e em cada caso meça:
 - A pressão total e estática ao longo do eixo da máquina;
 - O arraste;
 - A vazão de ar.

5. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Simbologia

A	área da seção transversal do escoamento;
C_p	calor específico a pressão constante;
C_v	calor específico a volume constante;
D	arraste externo;
M	número de Mach (veloc.do gás/veloc.do som no gás);
P	pressão estática;
P_t	pressão total;
R	constante dos gases;
S.F.C.	consumo específico de combustíveis;
T	temperatura
T_t	temperatura de estagnação;
V	velocidade;
W	vazão mássica;
X_i	impulso interno;
X_n	impulso líquido;
α	razão combustível/ar;
γ	relação dos calores específicos;
η	eficiência;
$\emptyset$	diâmetro.

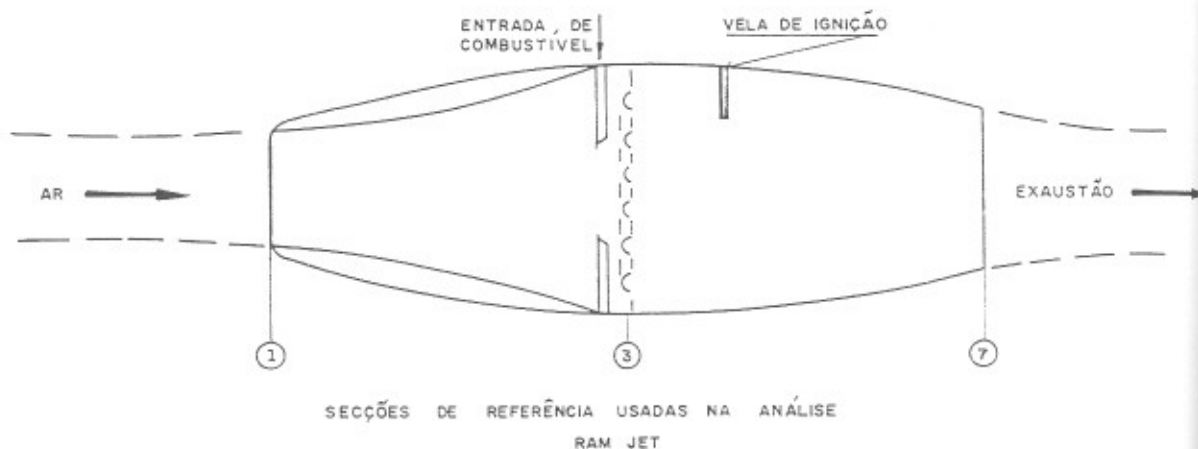
Índice

F	combustível;
A	ar;
ε	efetivo;
Max	máxima
1,3,7	secções transversais consideradas.

5.1 *Testes de Máquina Térmica.*

Para este teste assume-se que:

1. As condições são constantes em qualquer secção transversal;
2. A influência da adição de combustível na entrada é desprezada na determinação das condições de entrada;



Método

Medir ϕ_1 e ϕ_7

Ler o barômetro para obter a pressão atmosférica. Medir P_{t1} e P_1 e converter para valores absolutos.

Calcular:

$$\frac{P_{t1} - P_1}{P_1}$$

Fazer:

$$\frac{P_{t1}}{P_1} = 1 + \left(\frac{P_{t1} - P_1}{P_1} \right)$$

Nota:- Obtemos assim um resultado mais preciso do que fazendo $\frac{P_{t1}}{P_1}$ diretamente.

$$M_1 = \sqrt{\frac{2}{\gamma_1 - 1} \left(\left(\frac{P_{t1}}{P_1} \right)^{\frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1}} - 1 \right)}$$

e obtemos: M_1

Nota:- Tomar $\gamma = 1,4$ para o ar entre as secções 1 e 3.

Medir T_{t1}

$$\frac{V_1}{\sqrt{T_{t1}}} = \frac{\sqrt{\gamma_1 R_1} M_1}{\left(\frac{P_{t1}}{P_1}\right)^{\frac{\gamma_1-1}{2\gamma_1}}}$$

e obtemos: V_1

Nota:- Para V_1 em [m/s], T_t em [$^{\circ}$ K], $R_1 = 287$ [J / Kg $^{\circ}$ K] para o ar.

Nós conhecemos agora todas as condições do ar que chega. A razão do fluxo de massa do ar pode ser calculada pelas condições numa secção transversal de área conhecida. A secção 3 é conveniente uma vez que foi assumido que as condições do fluxo na mesma são uniformes.

Medir P_{t3} e P_3 e converter para valores absolutos.

Então calcular:

$$\frac{P_{t3}}{P_3} = 1 + \left(\frac{P_{t3} - P_3}{P_3}\right) \quad (\text{para obter maior precisão})$$

$$M_3 = \sqrt{\frac{2}{\gamma_3 - 1} \left(\left(\frac{P_{t3}}{P_3} \right)^{\frac{\gamma_3-1}{\gamma_3}} - 1 \right)}$$

$\gamma_3 = 1,4$ como antes,

e obtemos: M_3

$$\frac{V_3}{\sqrt{T_{t3}}} = \frac{\sqrt{\gamma_3} R_3 M_3}{\left(\frac{P_{t3}}{P_3}\right)^{\frac{\gamma_3-1}{2\gamma_3}}}$$

e obtemos: V_3

T_{t3} pode ser tomado igual a T_{t1} uma vez que é desprezível a transferência de calor na entrada.

$$\frac{W_3 \sqrt{T_{t3}}}{A_3 P_{t3}} = \frac{M_3 \sqrt{\frac{\gamma_3}{R_3}}}{\left(\frac{P_{t3}}{P_3}\right)^{\frac{\gamma_3+1}{2\gamma_3}}}$$

R_3 é igual a R_1	T_{t3} em $[^{\circ}\text{K}]$
W_3 em $[\text{Kg}/\text{s}]$	P_{t3} em $[\text{N}/\text{m}^2]$
A_3 em $[\text{m}^2]$	R_3 em $[\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{K}]$
$A_3 = 0.0102 \text{ m}^2$	

As condições na secção 7 serão obtidas por método iterativo, uma vez que γ_7 depende de T_7 que não pode ser medido diretamente. γ_7 vai depender também da eficiência de combustão, mas para eficiências altas esta dependência pode ser desprezada e γ_7 para T_7 produzido por uma queima completa ser usada.

Medir P_{t7} e P_7

Admitir um valor para γ_7 (1,275 é um bom valor médio), e

$$M_7 = \sqrt{\frac{2}{\gamma_7 - 1} \left(\left(\frac{P_{t7}}{P_7} \right)^{\frac{\gamma_7 - 1}{\gamma_7}} - 1 \right)}$$

e obtemos: M_7

Medir W_F

Então $W_7 = W_1 + W_F$, e

$$\sqrt{T_{t7}} = \frac{A_7 P_{t7} \sqrt{\frac{\gamma_7}{R_7}} M_7}{W_7 \left(\frac{P_{t7}}{P_7} \right)^{\frac{\gamma_7 - 1}{2\gamma_7}}}$$

γ_7 foi admitido e R_7 pode ser tomado igual a R_1 (exceto para temperaturas de saída muito altas) com erro desprezível.

Então obtemos: T_{t7} .

γ_7 é uma função de T_7 mas pode ser tomada como função de T_{t7} com pequeno erro para os valores moderados de M_7 usados neste equipamento.

Usando o valor de T_{t7} adota-se um novo valor de γ_7 e repetem-se os cálculos para determinar novos e mais precisos valores para M_7 e T_{t7} . É provável que se conclua que este novo valor de γ_7 é suficientemente bom. Se não for, repetir os cálculos até que se encontre um valor razoavelmente bom.

$$\frac{V_7}{\sqrt{T_{t7}}} = \frac{\sqrt{\gamma_7 R_7} M_7}{\left(\frac{P_{t7}}{P_7}\right)^{\frac{\gamma_7+1}{2\gamma_7}}}$$

e obtemos V_7

E temos, então, todas as condições na exaustão.

5.2 Cálculo de Impulso Interno

$$X_i = W_7 V_7 - W_1 V_1$$

X_i em [N] se W está em [kg/s] e V em [m/s]

5.3 Cálculo do Arraste Externo

Medir X_n

$$D = X_i - X_n$$

Nota:- Teoricamente o equipamento pode ser usado para um suprimento de ar infinitamente grande. Por razões práticas, no entanto, o suprimento de ar deve ser limitado. Na prática em vôos ao ar livre «D» provavelmente iria diferir um pouco dos valores encontrados.

5.4 Cálculo dos Coeficientes de Impulso

$$A_{\max} = \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_1^2)$$

$$C_{Ti} = \frac{X_i}{(1/2) \gamma_1 P_1 A_{\max} M_1^2} \quad (\text{baseado em } X_i)$$

$$C_{Tn} = \frac{X_n}{(1/2) \gamma_1 P_1 A_{\max} M_1^2} \quad (\text{baseado em } X_n)$$

5.5 Cálculo do Coeficiente de Arraste

$$C_D = \frac{D}{(1/2) \gamma_1 P_1 A_{\max} M_1^2}$$

5.6 Razão Ar/Combustível Aplicada

$$\alpha_A = \frac{W_F}{W_A}$$

5.7 Consumo Específico de Combustível

$$\text{S.F.C.i.} = \frac{W_F}{X_i} \quad (\text{baseado em } X_i)$$

$$\text{S.F.C.u} = \frac{W_F}{X_n} \quad (\text{baseado em } X_n)$$

Nota:- É comum expressar esta grandeza em Kg/h/N.

Outros critérios de desempenho:

- Impulso/área máxima;
- Impulso/peso.

O impulso considerado aqui é geralmente o impulso líquido.

5.8 Desempenho dos Componentes

1. Entrada

a) *Recuperação de pressão* $\frac{P_{t3}}{P_{t1}}$

Está próximo ao valor em entradas subsônicas de alta eficiência.

b) *Eficiência isoentrópica:* $n = \frac{T_{t3} - T_1}{T_{t1} - T_1}$

Esta é a razão do aumento da temperatura na compressão livre para o aumento da temperatura na entrada.

T_{t1} é obtido da medida de T_{t1} e $\frac{T_{t1}}{T_1} = \left(\frac{P_{t1}}{P_1}\right)^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}}$

T_{t3} é obtido de T_1 e: $\frac{T_{t3}}{T_1} = \left(\frac{P_{t3}}{P_1}\right)^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}}$

2. Sistema de Combustão e Sistema de Exaustão

Em um «Ramjet» de comprimento relativamente pequeno não é possível distinguir os dois sistemas. Ainda há combustão durante a expansão na região de exaustão.

É portanto mais prático considerar o processo de estabilização de chama, combustão e expansão em uma base total.

a) Eficiência de combustão.

O aumento da temperatura de combustão ($T_{t7} - T_{t1}$) depende de T_{t1} e da razão combustível/ar efetiva α_e .

(Determinado, considerando a reação de combustão estequiométrica).

A eficiência de combustão é, então, dada por:

$$\eta = \frac{\alpha_e}{\alpha_A}$$

b) Perda de pressão no combustor (total).

$$P_{t3} - P_{t7}$$

6. RESULTADOS

É necessário plotar, discutir e comentar os itens abaixo:

Empuxo e arrasto	x	Velocidade do Ar
Vazão do fluido combustível	x	(Nº de Mach)
Consumo específico do combustível	x	
C_k (coef. de empuxo) e C_d (coef. de arrasto)	x	

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 7.1 Shapiro, A.H., «The Dynamics & Thermodynamics of Compressible Fluid Flow», The Ronald Press Co.
- 7.2 Kerrebrock, J.L., «Aircraft Engines & Gas Turbine», Mit Press.
- 7.3 Keenan and Kaye, «Gas Tables», John Wiley & Sons Inc., N. York, USA, 1948.
- 7.4 Shames, I.H., «Mecânica dos Fluidos», Vol. II, ed. Edgard Blucher, 1976.

RAMJET

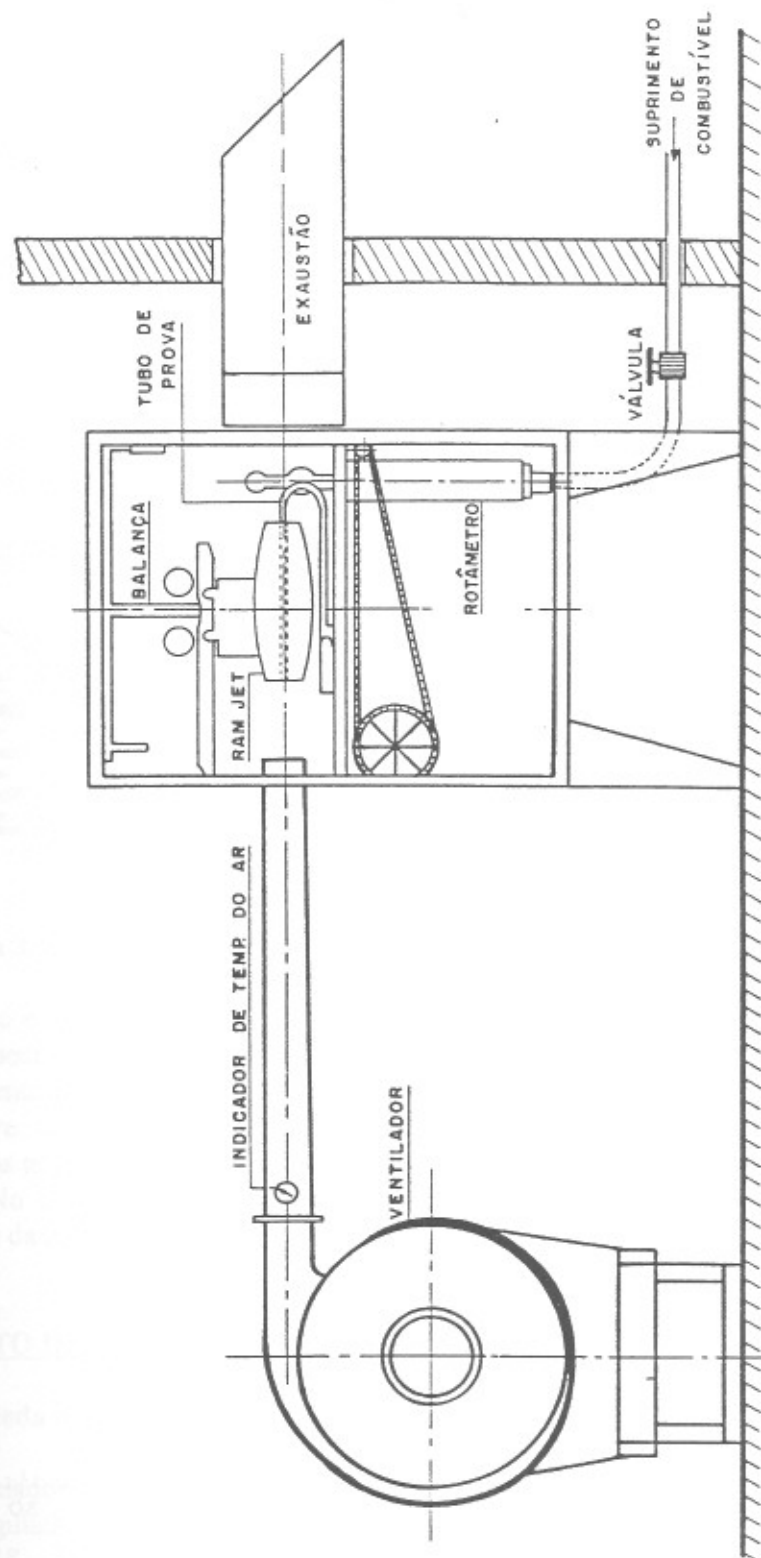


Figura 2.1 - Desenho Esquemático do Ramjet.

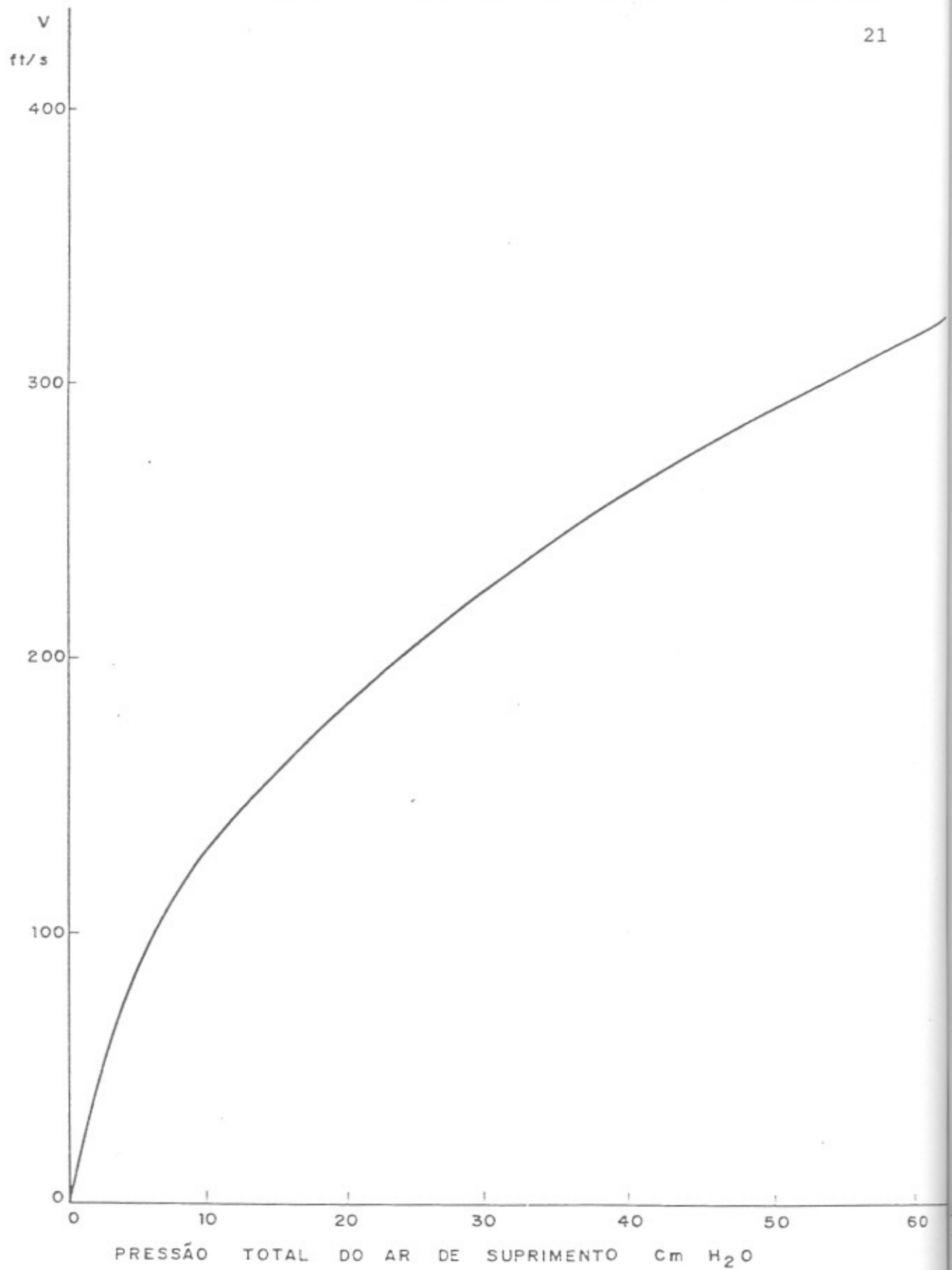


Figura 2.2 - Ranjet/Pulsojet.

EXPERIÊNCIA N° 3 - SISTEMA DE PROPULSÃO - PULSO JET

1. OBJETIVO

Este equipamento reproduz as condições de funcionamento de um turbo jato.

Neste experimento estudaremos este dispositivo, capaz de produzir empuxo, comparando-o com o Ramjet, da experiência n° 2.

2. TEORIA

O pulso jet utiliza os mesmos princípios de máquina térmica do ramjet sendo que nesse equipamento a compressão do ar antes da combustão é aumentada.

O esquema do equipamento é mostrado na Figura 3.1.

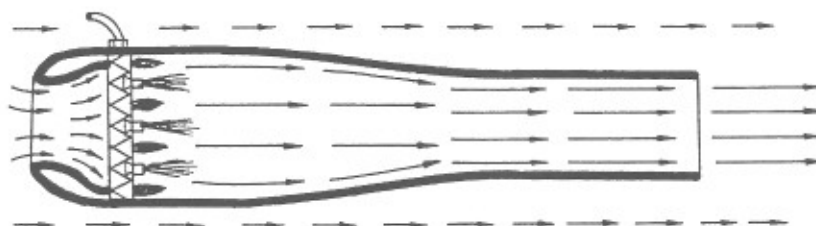


Figura 3.1 - Diagrama Esquemático de um Pulso Jet.

O ar penetrando no equipamento sofre uma leve expansão e é então misturado com o combustível. Com o aquecimento da mistura devido à combustão há uma expansão rápida dos gases impedindo a entrada de ar pelo fechamento das válvulas de admissão. A pressão aumenta até que ocorre violenta ejeção dos gases formados e a depressão no duto provocado pela saída dos gases permite novamente a abertura da válvula de admissão de ar e o ciclo é repetido. No caso do Pulso Jet do Laboratório, não há válvula móvel de admissão. O bloqueio se dá aerodinamicamente, no tubo turbilhonador.

3. PROCEDIMENTO DE PARTIDA

Atenção: Só proceda a partida com um técnico do Laboratório presente.

1. Verificar se o regulador de vazão do gás no painel do Pulso Jet está fechado;
2. Abrir a válvula reguladora de vazão do gás do Ramjet;
3. Verificar se há faísca na ignição;

4. Verificar se o ventilador está funcionando. Desligá-lo após a verificação;
5. Abrir com cuidado a válvula on-off do gás logo antes do regulador de pressão. O manômetro deve indicar 40 psi;
6. Ligar o ventilador por 1 minuto e desligá-lo novamente;
7. Quando a coluna de água no manômetro referente ao Pitot de velocidade do ar estiver menor que 1 cm, apertar a ignição e mantê-la;
8. Abrir imediatamente a válvula reguladora de vazão de gás, até o rotâmetro indicar 10 kg/h de vazão de gás;
9. O Pulso Jet deverá iniciar o funcionamento em aproximadamente 10 segundos, caso contrário, desligue o gás, ligue o ventilador por 2 minutos e repita o procedimento de partida;
10. Quando o Pulso Jet estiver com funcionamento estável solte o botão de ignição e regule o gás na condição desejada;
11. Ligue o ventilador, com sua válvula reguladora no mínimo;
12. Com o ventilador em rotação normal, regule o ar na condição desejada com cuidado para não apagar o Pulso Jet. Caso isto aconteça, abra o ar, feche o gás e repita o procedimento de partida;

4. RESULTADO

Plotar a curva de empuxo para descarga de combustível constante, e a curva de S.F.C.U. em função do N° de Mach na entrada.

Comparar os resultados com os obtidos no Ramjet.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 5.1 Shapiro, A.H., «The Dynamics & Thermodynamics of Compressible Fluid Flow», The Ronald Press Co.
- 5.2 Kerrebrock, J.L., «Aircraft Engines & Gas Turbines», Mit Press.
- 5.3 Shames, I.H., «Mecânica dos Fluidos», Vol. II, ed. Edgard Blucher, 1976.
- 5.4 Smith, G.G., «Gas Turbines and Jet Propulsion», Iliffe & Sons Ltd, London.

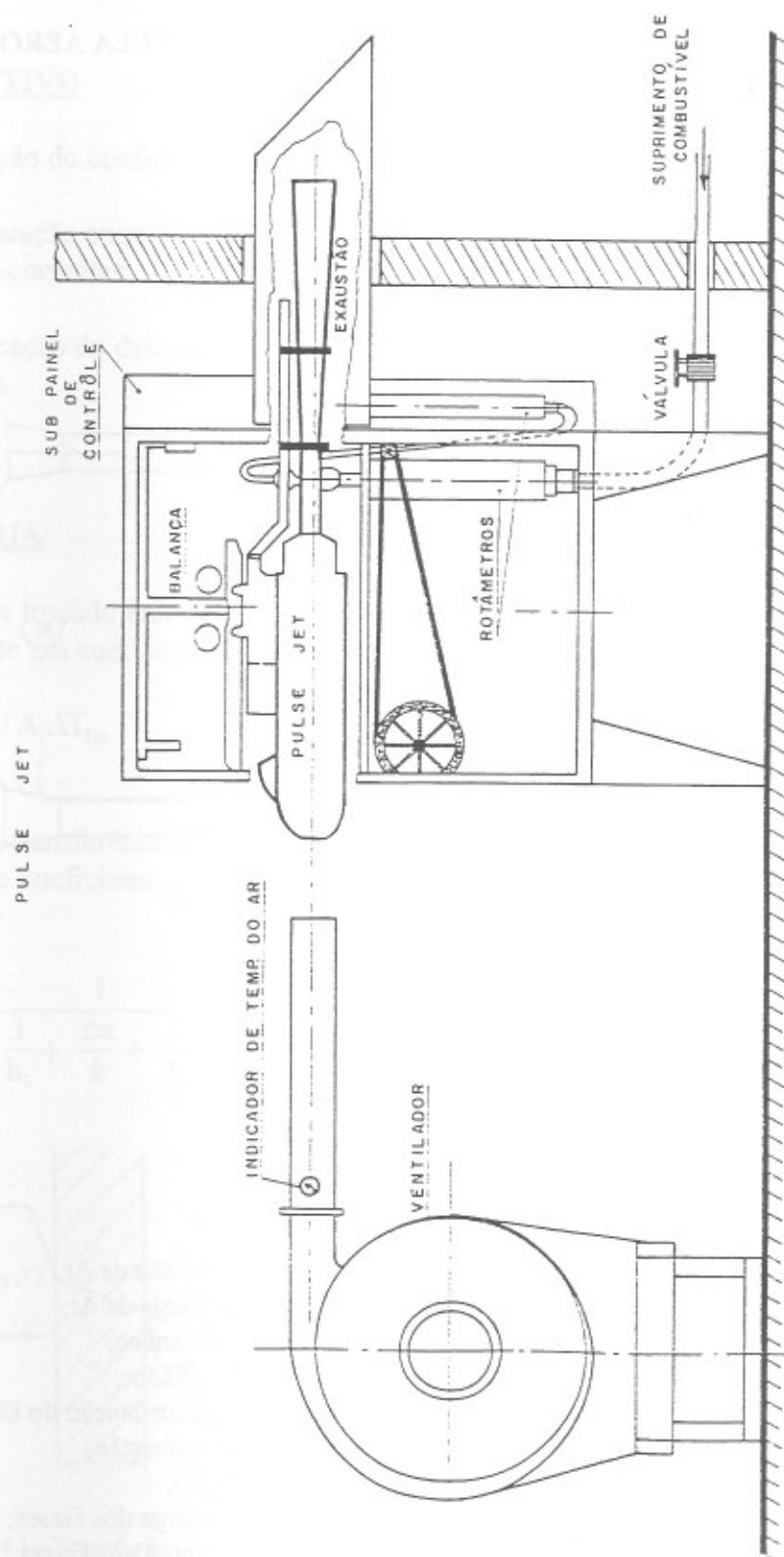
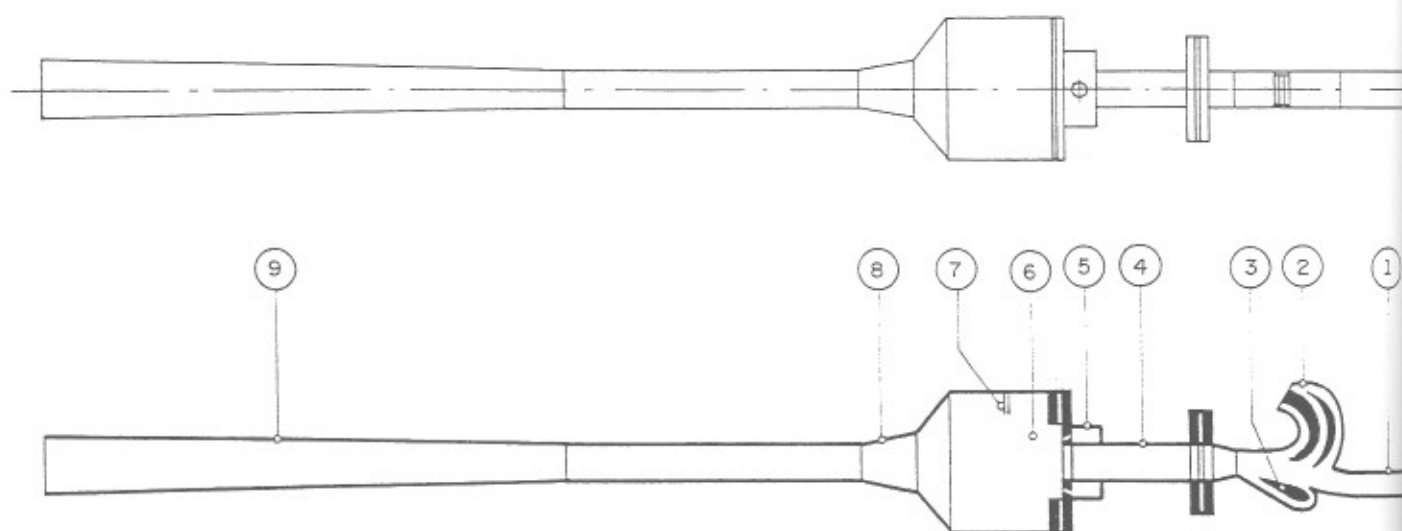


Figura 3.1 - Desenho Esquemático do Pulse Jet.

PULSO JATO COM VÁLVULA AERODINÂMICA



1. Bocal de Admissão de Ar;
2. Bocal de Descarga de Ar;
3. Diodo Aerodinâmico;
4. Tubo Turbilhonador;
5. Plenum para Distribuição do Combustível;
6. Câmara de Combustão;
7. Vela de Ignição;
8. Bocal de Descarga dos Gases;
9. Tubo de Descarga dos Gases.

EXPERIÊNCIA Nº 4 - TROCADOR DE CALOR TUBO DUPLO

1. OBJETIVO

- a) Obtenção do coeficiente global de transferência de calor;
- b) Comparação entre as eficiências de troca de calor em sistemas co-correntes e contra-correntes;
- c) Verificação do desempenho do trocador de calor em função da vazão dos fluidos.

2. TEORIA

O calor trocado entre um fluido quente e um fluido frio é comumente expresso em termos de um coeficiente global de transferência de calor pela equação:

$$\dot{q} = U A \Delta T_{lm} \quad (1)$$

Para a transferência de calor através de uma parede plana, como mostrado na Figura 4.1, o coeficiente global é obtido fazendo-se uma analogia com a resistência elétrica.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (2)$$

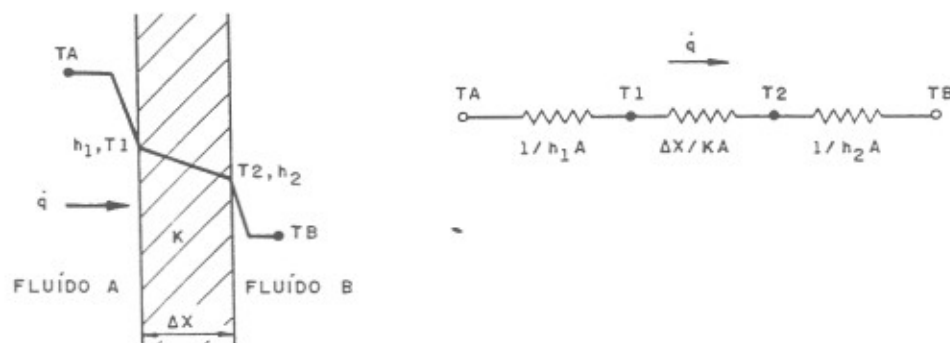


Figura 4.1 - Transferência de Calor entre os Fluidos A e B através de Uma Parede Plana.

Na prática, a transferência de calor ocorre mais frequentemente entre fluidos escoando em tubos, como no esquema mostrado na Figura 4.2.

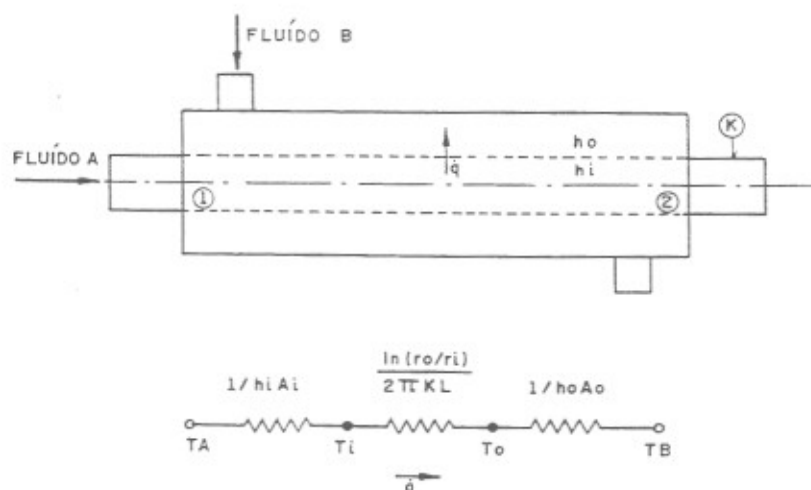


Figura 4.2 - Trocador de Calor de Tubo Duplo.

Neste trocador, o fluido A escoa no interior do tubo interno enquanto que o fluido B escoa no espaço anular entre os tubos. Neste caso, a área de troca de calor não é constante como no caso da parede plana, sendo o coeficiente global de troca de calor em relação a área interna definido por:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln(r_o/r_i)}{2\pi K L} + \frac{A_i}{A_o h_o}} \quad (3)$$

Depois de um certo período de tempo de operação, a transferência de calor nos trocadores pode ser prejudicada devido a deposição de sujidade na superfície de troca de calor. Neste caso, teremos uma resistência adicional a troca de calor resultando numa menor eficiência do equipamento.

Os fluidos do trocador de calor mostrado na Figura 4.2 podem escoar tanto em escoamentos co-correntes como em escoamentos contra-correntes, e o perfil de temperatura para esses casos são indicados na Figura 4.3.

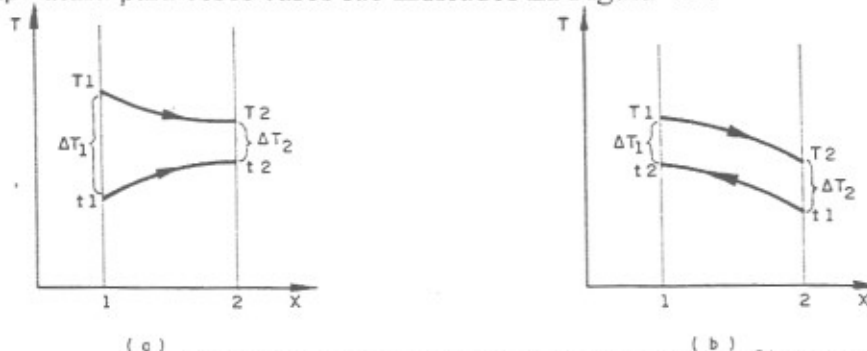


Figura 4.3 - Esquema do perfil de Temperatura em Sistemas:
(a) co-corrente; (b) contra-corrente.

A média logarítmica da diferença de temperatura é em qualquer dos casos, escoamento co-corrente ou contra-corrente, definida por:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (4)$$

O fluxo de calor recebido pelo fluido será: $\dot{q}_c = w_c \cdot c_c \cdot (t_2 - t_1)$ enquanto o fluxo de calor cedido pelo fluido quente será: $\dot{q}_h = w_h \cdot c_h \cdot (T_1 - T_2)$.

A diferença entre $\dot{q}_c$ e $\dot{q}_h$ é o calor transmitido ao ambiente, desprezível na maioria dos casos.

Nomenclatura

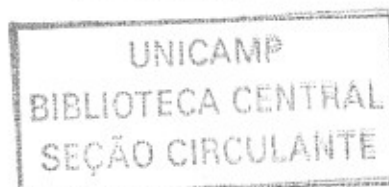
- A área de troca de calor, m^2 ;
- c calor específico a pressão constante, $J/kg^\circ C$;
- h coeficiente convectivo de transferência de calor, $W/m^2^\circ C$;
- k condutividade térmica, $W/m^\circ C$;
- L comprimento do tubo, m;
- q calor transferido, W;
- r raio do tubo, m;
- t temperatura do fluido frio, $^\circ C$;
- T temperatura do fluido quente, $^\circ C$;
- U coeficiente global de transferência de calor, $W/m^2^\circ C$;
- w vazão mássica, kg/s;
- ΔT_{lm} média logarítmica da diferença de temperatura, $^\circ C$;
- Δx espessura da parede, m.

Índices

- 1 posição na entrada do trocador;
- 2 posição na saída do trocador;
- c fluido frio;
- h fluido quente.

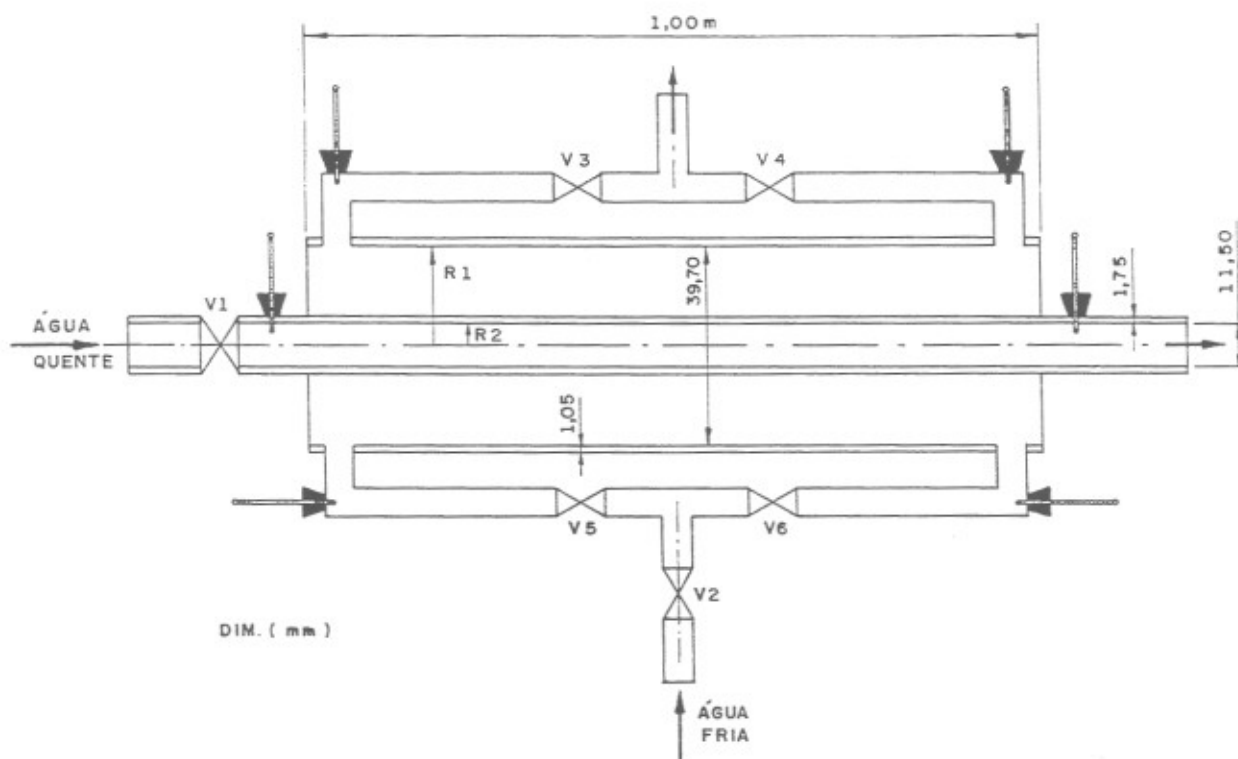
3. PROCEDIMENTO

- a) Abrir a válvula que fornece a alimentação do tubo interno do trocador (V1);
- b) Ligar o aquecedor de água e esperar que a temperatura na saída do aquecedor permaneça constante;
- c) Abrir ou fechar as válvulas da linha de água fria (V3 a V6) de modo a permitir o escoamento co-corrente ou contra-corrente;



- d) Abrir a válvula que fornece a alimentação de fluido frio (V2);
- e) Esperar que o sistema atinja regime estacionário para então realizar-se as medidas de temperatura e vazão.

Efetuar as medidas para 5 diferentes vazões de água fria.



4. CÁLCULOS E RESULTADOS

- a) Deduzir a equação (3);
- b) Calcule o coeficiente global de transferência de calor para cada escoamento ensaiado;
- c) Compare os resultados obtidos para o escoamento co-corrente e o contra-corrente;
- d) Obtenha o coeficiente global de transferência de calor para os escoamentos ensaiados a partir de correlações da literatura de $Nu = Nu(Re, Pr)$ e compare com os valores obtidos experimentalmente;

- e) Aplique o método da efetividade para encontrar as temperaturas de saída dos fluidos. Compare com os valores obtidos no experimento;
- f) Discuta a partir de resultados experimentais a influência do número de Reynolds sobre o coeficiente global de transferência de calor e sobre a média logarítmica da diferença de temperatura.

5. BIBLIOGRAFIA

- 5.1 Holman, J.P., Heat Transfer, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 3ª Edição, 1972.
- 5.2 Kreith, F., Princípios da Transmissão de Calor, Ed. Edgard Blucher Ltda., 1969.

EXPERIÊNCIA Nº 5 - MEDIDA DA EFICIÊNCIA DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA A GÁS

1. OBJETIVO

Verificação de fatores que afetam a eficiência de um aquecedor de água a gás.

2. TEORIA

A eficiência de um aquecedor de água é dada pela razão entre a variação de entalpia da água e a energia disponível no gás.

As perdas na eficiência vêm em consequência da combustão incompleta do gás, perda de calor sensível nos gases de escape, perda de calor através do revestimento do aquecedor, e, se for tomado o poder calorífico superior, há também perda de calor latente pelos gases de escape.

3. EQUIPAMENTO

O equipamento é um aquecedor de água JUNKERS, do qual há um modelo em corte no laboratório. A medida de vazão do gás é feita por uma placa de orifício calibrada. A vazão de água é medida através de um tanque calibrado, usando-se um cronômetro para a marca de tempo de passagem de um nível a outro do tanque.

4. PROCEDIMENTO

- Antes de iniciar os testes, observe o modelo em corte, notando os dispositivos de segurança, a disposição dos fluxos de água, de gases quentes e o trocador de calor do sistema;
- Abrir a válvula de bloqueio de água do sistema. Abrir a válvula de bloqueio de gás do sistema;
- Abrir totalmente a válvula de regulação de água do equipamento;

- Acionando a válvula de regulação de gás do equipamento, acender a chama piloto. Aguarde alguns minutos para que o piloto acenda os bicos queimadores de gás;
- Mantendo a vazão de água constante, inicie o teste, ajustando a vazão de gás equivalente a 10 mm de coluna de álcool. Espere cerca de 5 minutos e anote os dados experimentais na tabela em anexo. Repita o procedimento passando o fluxo de gás por mais 5 estágios até chegar a uma vazão equivalente a 60 mm de coluna de álcool;
- Ao final de cada corrida cronometre o tempo necessário para obter um certo volume de água no tanque graduado. Cheque este valor com a vazão do início da corrida;
- Repita o procedimento para mais três vazões de água.

5. CÁLCULO E RESULTADOS

- Avalie a incerteza na determinação da eficiência do aquecedor, justificando a incerteza de cada variável do sistema;
- Supondo o GLP uma mistura gasosa com 50% Butano e 50% Propano, avalie o seu poder calorífico;
- Construa um gráfico para o aquecedor sendo a ordenada o fluxo de gás e a abscissa a diferença de temperatura da saída e a entrada de água do sistema, marcando em cada curva de mesma vazão de água os pontos com as eficiências correspondentes. Una os pontos de mesma eficiência em cada linha de vazão de água constante, construindo curvas de isoeffiência;
- Baseado no gráfico e no balanço térmico do sistema, discuta a influência de cada variável, separadamente, que afeta a eficiência do equipamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 6.1 Francis, W., «Fuels and Fuel technology», Pergamon Press, 1970.
- 6.2 Ismail, K.A.R., «Fenômenos de Transporte - Experiências de Laboratório», Ed. Campus, 1982.

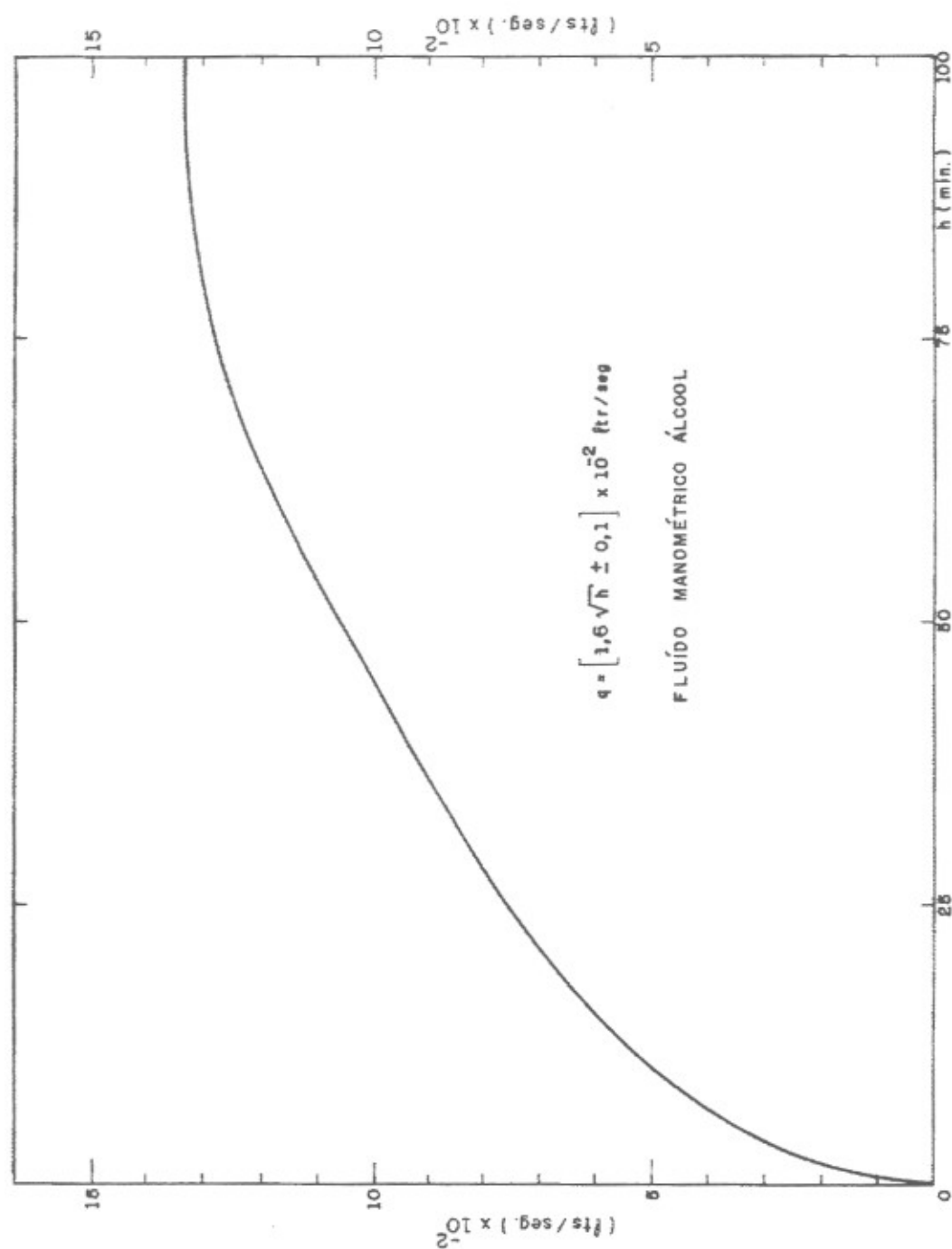


Figura 5.1 - Curva de Calibração da Placa de Orifício.

MEDIDA DA EFICIÊNCIA DE UM AQUECEDOR A GÁS

VAZÃO ÁGUA	PRESSÃO GÁS (mm H ₂ O)	VAZÃO GÁS (mm ÁLCOOL)	GÁS		ÁGUA		TEMP. AMBIENT (°C)
			T. ENTRADA (°C)	T. SAÍDA (°C)	T. ENTRADA (°C)	T. SAÍDA (°C)	
INICIAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$ FINAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$							
INICIAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$ FINAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$							
INICIAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$ FINAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$							
INICIAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$ FINAL $\frac{\Delta V}{\Delta t} =$							

Pressão Atmosférica =

EXPERIÊNCIA Nº 6 - CALORÍMETRO DE GÁS

1. OBJETIVO

Determinação do poder calorífico de combustível gasoso.

2. TEORIA

O poder calorífico superior (PCS) de um combustível gasoso é a quantidade de energia liberada na combustão, a pressão constante de um volume unitário de gás, sob as condições normais de temperatura e pressão ($T = 273K$, $p = 760 \text{ mmHg}$), desde que sejam ainda cumpridos os seguintes requisitos:

- O gás combustível deve estar saturado de vapor d'água;
- O oxigênio da combustão (ar) deve ser admitido na câmara de combustão às mesmas temperatura e pressão do gás combustível;
- Os produtos da combustão devem ser liberados à mesma temperatura inicial do combustível e do oxidante;
- A água formada na combustão deve estar, ao final do processo, na fase líquida.

O poder calorífico inferior (PCI) é igual ao poder calorífico superior menos o calor latente de vaporização da água formada na reação de combustão, isto é, a água formada na combustão deve estar, ao final do processo, na fase gasosa.

As condições especificadas acima para a determinação do poder calorífico são impraticáveis num experimento, mas ele pode ser determinado sob condições mais convenientemente estabelecidas e posteriormente corrigido para as condições padrões.

3. EQUIPAMENTO

O calorímetro utilizado nesta experiência é o calorímetro de gás tipo Junkers, fabricado pela Schwendler e Co. K.G., Alemanha. Neste equipamento a reação de combustão ocorre, sob pressão constante, em uma câmara cilíndrica encamisada, de forma a permitir a transferência de calor liberado a um fluxo de água escoando em contra-corrente num processo em regime permanente. Desta forma é possível resfriar os gases de exaustão até uma temperatura igual ou próxima a do ar e gás fornecidos ao queimador.

A vazão de combustível é registrada em um medidor de deslocamento positivo (cilindro rotativo) e a de água é medida registrando-se o volume de água que escoa em determinado período de tempo. O vapor de água condensado dos produtos de combustão é da mesma forma coletado e medido.

As vazões de água e gás devem ser mantidas o mais constante possível.

A pressão e temperatura do gás são medidas no medidor e o volume que o gás iria ocupar sob condições padrões pode ser determinado pela aplicação da lei dos gases ideais.

O poder calorífico do gás nas condições padrões pode ser determinado conhecendo-se o volume correto de gás queimado durante um intervalo de tempo no qual a temperatura de uma determinada quantidade de água aumenta de um valor observado.

Um desenho esquemático do calorímetro JUNKERS está mostrado na Figura 6.1.

CÁLCULOS E RESULTADOS

O procedimento da experiência é descrito no manual de laboratório (anexo 1). Para uma análise mais detalhada dos cálculos, consulte o manual de laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Manual de laboratório, K.A.R., Febrin, 1967.

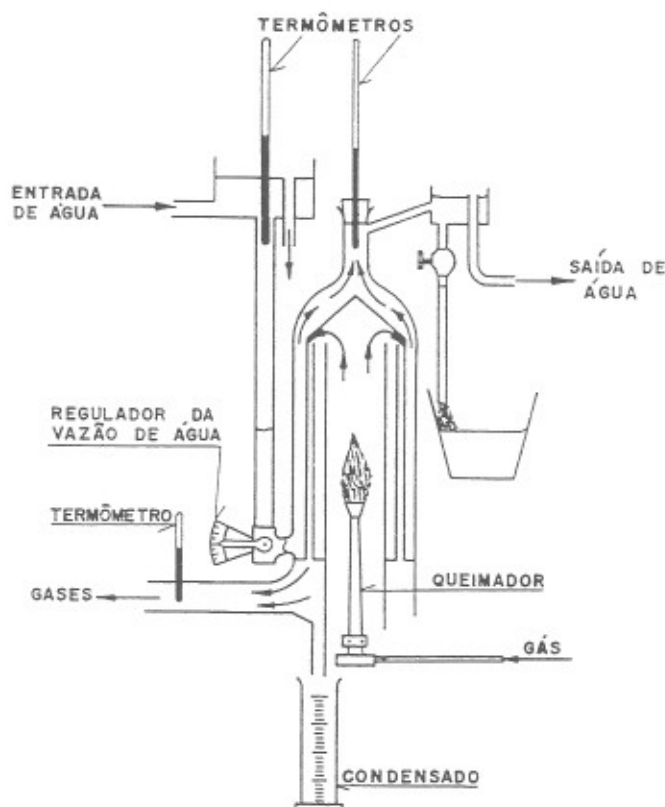


Figura 6.1 - Desenho Esquemático do Calorímetro JUNKERS.

4. PROCEDIMENTOS

- a) Abra a válvula do circuito de água do calorímetro;
- b) Com o queimador fora de sua sede no calorímetro, atue sobre as válvulas reguladoras de pressão de forma a obter uma pressão no medidor de cilindro rotativo entre 20 mmca e 60 mmca.
A chama no queimador poderá apresentar uma pequena franja amarela, mas não deve haver formação de fuligem.
Importante:- Durante o processo de ajuste da vazão e da pressão, mantenha o queimador aceso a fim de evitar concentração perigosa de gás no ambiente;
- c) Aloje o queimador na câmara, certificando-se de que a chama não se extinguiu (observe a variação da temperatura de saída da água). caso a operação tenha que ser repetida, ventile adequadamente a câmara de combustão antes de alojar novamente o queimador;

- d) Ajuste a vazão da água e/ou de gás, de forma a obter uma diferença de temperatura mínima possível entre as temperaturas de entrada do combustível e do oxidante e a temperatura dos gases de exaustão;
- e) Certifique-se que o processo atingiu o regime permanente (não deve haver variação apreciável nas temperaturas do gás combustível e da água na entrada e saída do calorímetro);
- f) Registre a temperatura do gás, a temperatura ambiente, a temperatura dos gases de escape e a pressão no medidor;
- g) Inicie a medição da vazão de gás simultaneamente com o registro de água condensada;
- h) Tome três conjuntos de temperatura de entrada e saída de água, cada conjunto correspondendo a 10 litros de gás consumido. Dez temperaturas de entrada e saída da água devem ser anotadas em cada conjunto, isto é, faça uma leitura para cada litro de gás consumido. A vazão de água de resfriamento deve ser registrada em cada conjunto de medidas (veja formulário para preenchimento em anexo);
- j) Quando 15 litros de gás foram consumidos, encerre a coleta de condensado e pese-o;
- j) Encerre a experiência cortando, inicialmente, o fornecimento de gás ao queimador.

5. CÁLCULOS E RESULTADOS

O procedimento de cálculo do poder calorífico superior e do poder calorífico inferior deve estar de acordo com a metodologia estabelecida no formulário em anexo. Faça uma dedução detalhada de cada uma das equações da folha de cálculo (formulário). Faça uma análise de erro e incerteza e comente a influência dos erros das grandezas intermediárias na medida final do Poder Calorífico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 6.1 Messersmith, Warner and Olsen, Mechanical Engineering Laboratory (Reg. FEC 620.10028, M563 m).
- 6.2 Ismail, K.A.R., Fenômenos de Transferência, Editora Campus.

6.3 Normas Técnicas ABNT (MB-133).

6.4 Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers.

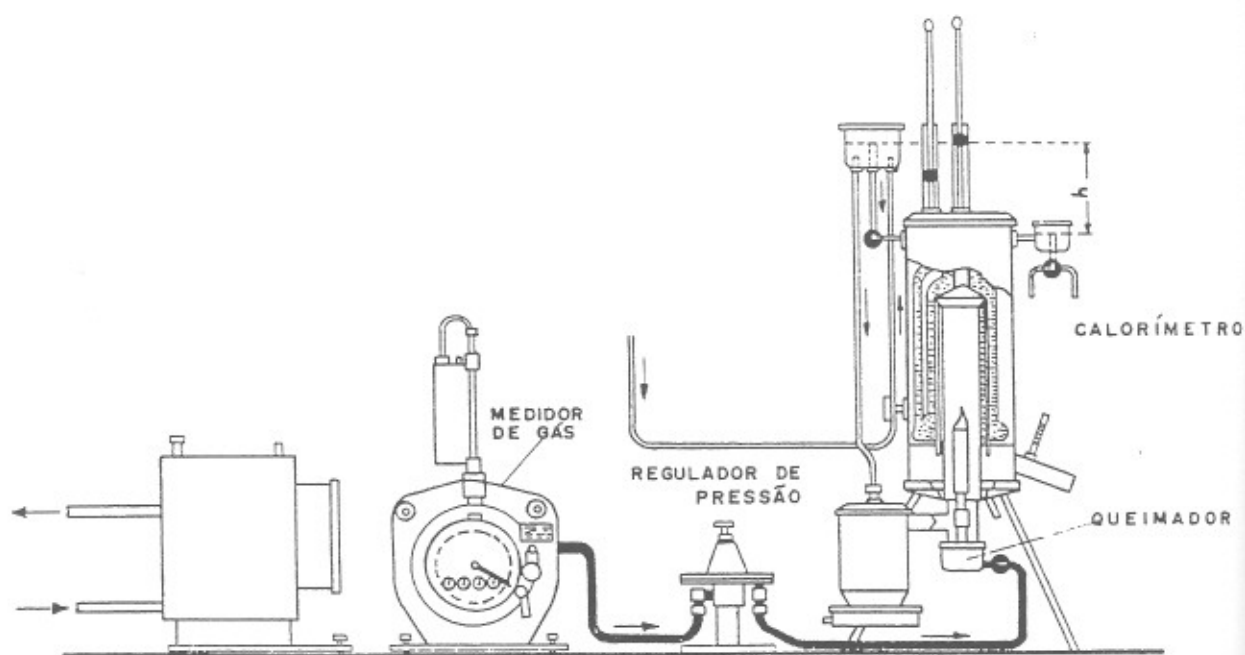


Figura 6.2 - Desenho Esquemático do Sistema.

DATA _____ HORA DE INÍCIO _____ TÉRMINO _____

GÁS _____

TEMPERATURA AMBIENTE $\left\{ \begin{array}{l} \text{BULBO SECO } t_a = \text{_____}^{\circ}\text{C} \\ \text{BULBO ÚMIDO } t_b = \text{_____}^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$ PRESSÃO BAROMÉTRICA $b = \text{_____} \text{ mb ; } b_c = \text{_____} \text{ mmHg}$ TEMPERATURA NO GASÔMETRO $t = \text{_____}^{\circ}\text{C}$ PRESSÃO NO GASÔMETRO $p_1 = \text{_____} \text{ mmHg}$ TEMPERATURA GÁS EXAUSTÃO $t_c = \text{_____}^{\circ}\text{C}$

REGISTRO DO GÁS : INÍCIO _____ TÉRMINO _____

PARA g l DE GÁS QUEIMADO, COLETOU-SE $w = \text{_____}$ ml DE ÁGUA CONDENSADACORREÇÃO DO GASÔMETRO $f = 1.005$ PRESSÃO PARCIAL DO VAPOR D'ÁGUA $S = \text{_____} \text{ mmHg}$ PRESSÃO ABSOLUTA DO GÁS $p = b_c + p_1 - S = \text{_____} \text{ mmHg}$ TEMPERATURA ABSOLUTA DO GÁS $T = t + 273 = \text{_____} \text{ K}$ COEFICIENTE PARA CORREÇÃO DO VOLUME DO GÁS $F = \frac{10333}{273} \cdot \frac{T}{P} = \text{_____} \frac{\text{m}^3}{\text{Nm}^3}$ CALOR LATENTE POR VOLUME UNITÁRIO DE GÁS $r = \frac{w \cdot \lambda}{(g/1000) \cdot f} = \text{_____} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$

10 l		10 l		10 l		g (l)
Te	Ts	Te	Ts	Te	Ts	
						1
						2
						3
						4
						5
						6
						7
						8
						9
						10
						MÉDIA
						$\Delta T = T_s - T_e$ ($^{\circ}\text{C}$)
						VOLUME DE ÁGUA (l)
						TEMPO (s)
						$\dot{W}$ (m^3/s)
						VOLUME DE GÁS (l)
						TEMPO (s)
						G (m^3/s)

$$PCS' = \frac{\rho \cdot \dot{W} \cdot C_p \cdot \Delta T}{G \cdot f} \quad \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{W} = \text{VAZÃO DE ÁGUA (m}^3/\text{s)}$$

$$G = \text{VAZÃO DE GÁS (m}^3/\text{s)}$$

$$C_p = \text{CALOR ESPECÍFICO DA ÁGUA (kcal/kg }^{\circ}\text{C)}$$

$$\rho = \text{DENSIDADE DA ÁGUA (kg/m}^3 \text{)}$$

$$\Delta T = (T_s - T_e), ^{\circ}\text{C}$$

$$PCI' = PCS' - r \quad (\text{kcal/m}^3)$$

REDUÇÃO PARA A CONDIÇÃO PADRÃO (0 $^{\circ}\text{C}$, 760 mmHg)

$$PCS = PCS' \cdot F = \text{_____} \text{ kcal/Nm}^3$$

$$PCI = PCI' \cdot F = \text{_____} \text{ 169 kcal/Nm}^3$$

EXPERIÊNCIA Nº 7 - CICLO DE COMPRESSÃO A VAPOR

1. OBJETIVO

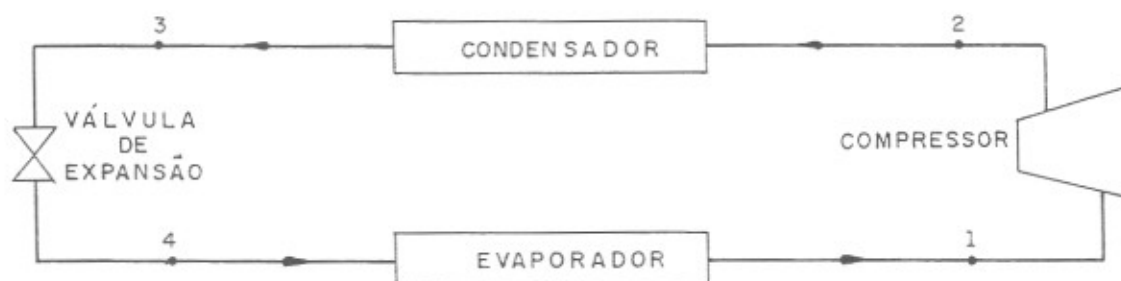
Determinar as propriedades do fluido de trabalho em diversos pontos do ciclo e comparar o desempenho de três tipos diferentes de dispositivos de expansão.

Equipamento Básico:

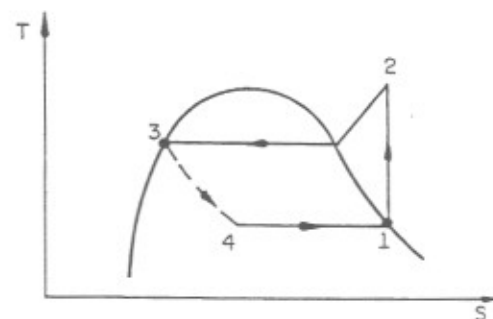
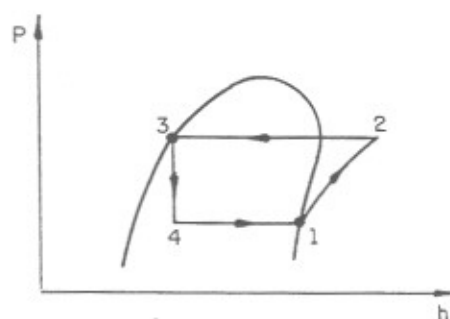
Compressor, condensador, evaporador, válvula de expansão termostática, válvula de expansão pressostática e tubo capilar.

Introdução Teórica:

a) Esquema do ciclo Padrão de Compressão a Vapor.



b) Diagramas.



Trecho 1-2: Compressão adiabática reversível desde o estado de vapor saturado até a pressão de condensação.

Trecho 2-3: Rejeição reversível de calor à pressão constante, diminuindo a temperatura do refrigerante inicialmente e condensando-o depois.

- Trecho 3-4: Expansão irreversível à entalpia constante desde o estado de líquido saturado até a pressão de evaporação.
- Trecho 4-1: Ganho de calor à pressão constante, produzindo a evaporação do refrigerante até o estado de vapor saturado.

Procedimento para o Acionamento do Equipamento

- 1) Estudar o circuito e verificar os possíveis percursos a serem feitos pelo fluido de trabalho;

Atenção: Em hipótese alguma deve-se permitir que o fluido de trabalho entre no compressor em estado líquido.

- 2) Verificar se o cabo de energia elétrica está conectado à tomada;
- 3) Ligar a chave-geral localizada no painel;
- 4) Ligar os ventiladores do evaporador e do condensador colocando a chave na posição «Low»;
- 5) Acionar o compressor;
- 6) Encher com óleo cada vaso onde está contido o bulbo do termopar a fim de obtermos uma temperatura mais uniforme em torno do bulbo;
- 7) A troca entre os dispositivos de expansão deve ser efetuada de maneira rápida e simultânea.
Após o acionamento do ciclo espere de 15 a 20 minutos antes de coletar as medidas de temperatura e pressão; o mesmo acontecendo em cada troca de dispositivo de expansão.
Admita que o fluido de trabalho entra no compressor no estado de vapor saturado e deixa o condensador no estado de líquido saturado.

Procedimentos para Desligar a Geladeira

- 1) Desligar o compressor;
- 2) Desligar o evaporador;
- 3) Desligar o condensador;
- 4) Desligar a chave-geral.

Apresentação dos Resultados

- a) Calcule para cada dispositivo de expansão:
 - O calor rejeitado pelo condensador para o ambiente;
 - O efeito de refrigeração;
 - O trabalho de compressão;
 - O coeficiente de eficácia.
- b) Compare os resultados obtidos pelos dispositivos de expansão;
- c) Mostre no diagrama P_{xh} o ciclo teórico de cada dispositivo de expansão.

OBS:- O fluido de trabalho é o «Freon-12» (F-12).

MEDIDAS DAS TEMPERATURAS

1) Válvula Termostática.

	Compressor	Condensador	Evaporador
$T_e (^{\circ}C)$			
$T_s (^{\circ}C)$			
$P_{sucç\tilde{o}} / P_{desc}(psig)$			

2) Válvula Pressostática.

	Compressor	Condensador	Evaporador
$T_e (^{\circ}C)$			
$T_s (^{\circ}C)$			
$P_{sucç\tilde{o}} / P_{desc}(psig)$			

3) Tubo Capilar.

	Compressor	Condensador	Evaporador
$T_e (^{\circ}C)$			
$T_s (^{\circ}C)$			
$P_{sucç\tilde{o}} / P_{desc}(psig)$			

Esquema de Experiências

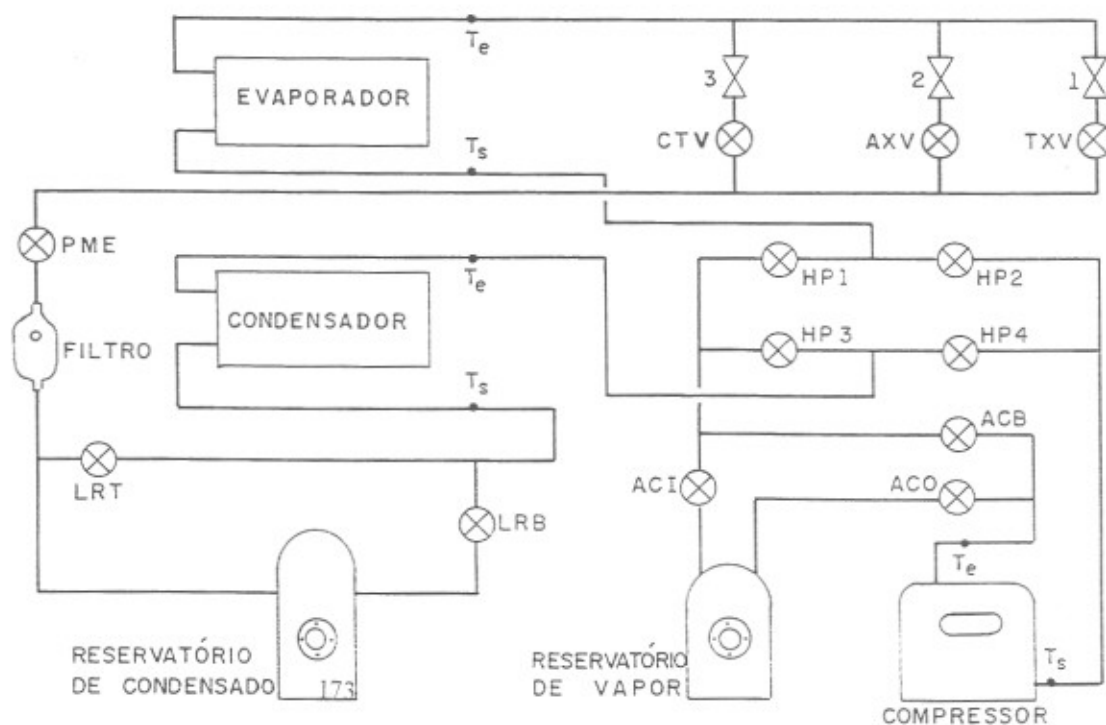
Notação: 1, 2, 3 = dispositivos de expansão.

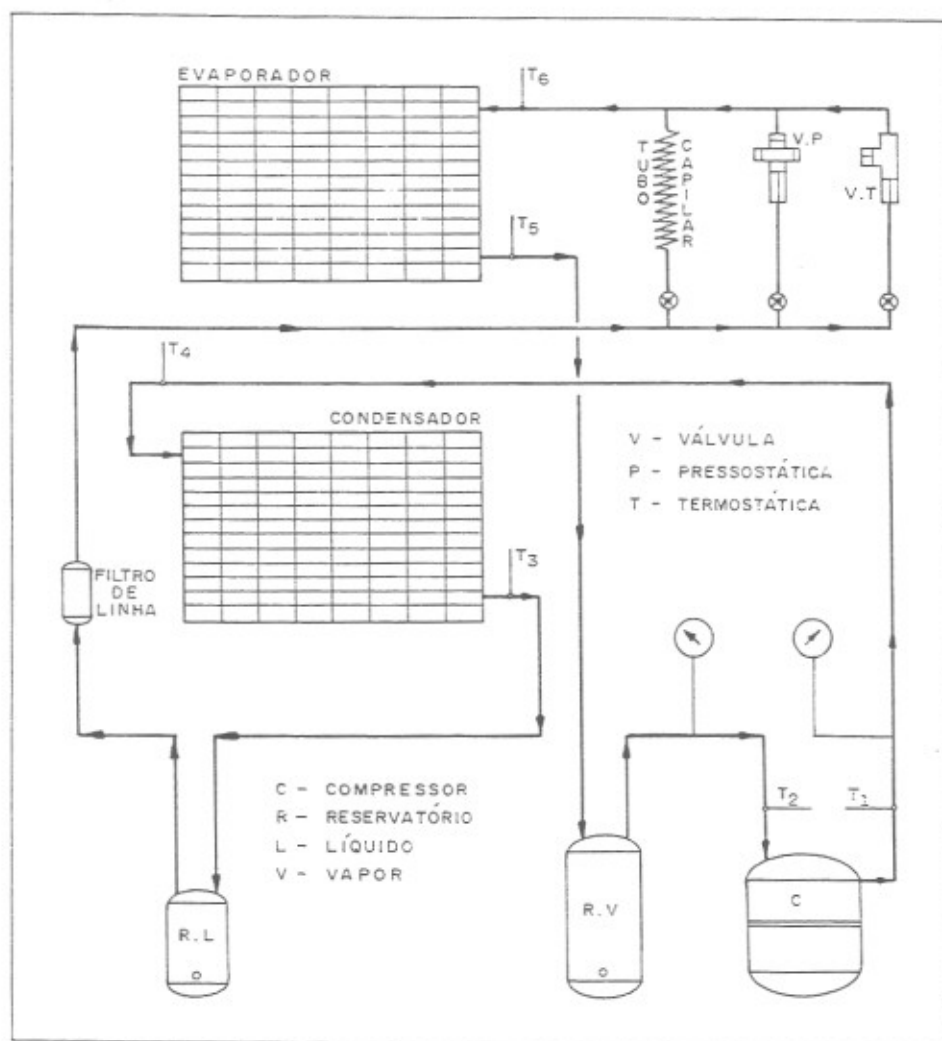
1 = Válvula Termostática;

2 = Válvula Pressostática;

3 = Tubo Capilar;

⊗ = Válvulas de Bloqueio.





ESQUEMA DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

EXPERIÊNCIA Nº 8 - REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

O ciclo de compressão a vapor opera com energia elétrica ou mecânica enquanto que uma instalação frigorífica por absorção utiliza energia térmica para produzir o resfriamento necessário no ambiente onde o evaporador está inserido.

O fluido de trabalho - o refrigerante - na fase gasosa, cede calor para o ambiente, tornando-se líquido no condensador. No evaporador, calor é retirado do ambiente pois ocorre a evaporação do refrigerante a baixa pressão. Para manter o ciclo contínuo, o vapor de baixa pressão deve ser comprimido para a pressão de condensação.

O ciclo por absorção utiliza uma mistura binária com propriedades não azeotrópicas composta de um refrigerante e de um solvente. Essa mistura promove a mudança de fase do refrigerante de vapor para líquido em baixa pressão logo após a saída do evaporador. A solução rica formada nesse processo é bombeada para o gerador onde recebe energia térmica promovendo-se a expulsão do refrigerante puro da solução na fase vapor a alta temperatura e pressão. O gás de refrigerante puro segue para o condensador onde ocorre a mudança para a fase líquida. Esse líquido passando por um dispositivo de expansão tem sua temperatura e pressão reduzidas retornando ao evaporador completando-se o ciclo.

As misturas mais utilizadas são:

- Água-brometo de lítio;
- Amonia-água; onde o primeiro componente é o refrigerante e o segundo é o solvente.

O CICLO DE ABSORÇÃO

A Figura 1 mostra os componentes básicos de um ciclo de absorção simples. Neste ciclo, o vapor de refrigerante à baixa pressão proveniente do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor (solução pobre), formando-se assim a mistura rica. Para manter o processo de absorção contínuo, a energia térmica liberada pela absorção deve ser retirada através do resfriamento pela água ou ar no absorvedor.

A mistura de refrigerante solvente de baixa pressão tem que ser bombeada para um gerador, onde recebe energia térmica à alta temperatura. O componente puro da mistura que é o refrigerante, deve ter uma temperatura de evaporação bem mais baixa que a do solvente para permitir sua separação. Desta forma o refrigerante será expulso em forma de vapor da mistura rica a uma temperatura mais baixa que a

de evaporação do solvente. Depois, o vapor de refrigerante à alta temperatura e pressão torna-se líquido no condensador, cedendo calor para o ambiente ou para a água de resfriamento.

O refrigerante líquido atravessando um dispositivo de expansão entra no evaporador, onde retira o calor do espaço a ser resfriado mudando da fase líquida para vapor. Este vapor de refrigerante à baixa pressão será absorvido pela solução pobre no absorvedor, fechando assim o ciclo.

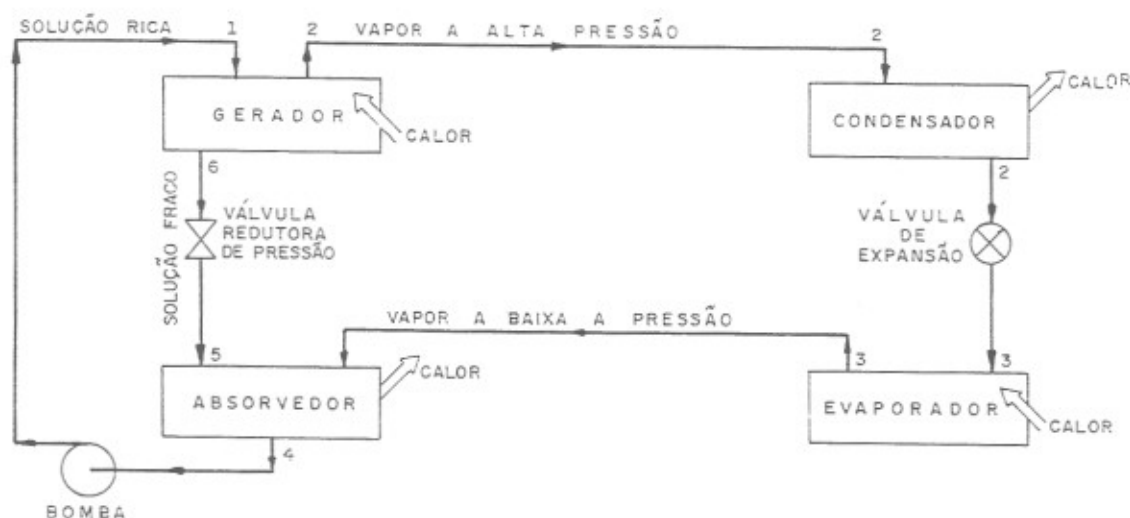


Figura 1. Esquema do Ciclo de Absorção.

SISTEMA PLATEN-MUNTERS

Para evitar o bombeamento mecânico do fluido de trabalho no ciclo de absorção, M. Geppert em 1899 sugeriu a introdução de um gás que não condensa nas partes de baixa pressão do sistema. Este gás completa a pressão total, que se aproxima da pressão de condensação.

Assim, o gás inerte mantém-se no evaporador e no absorvedor. Geppert utilizou o ar como gás, porém sem sucesso.

Em 1929 Platen e Munters sugeriram o uso de hidrogênio como gás inerte. A Figura 3 mostra a máquina frigorífica de absorção utilizada no Laboratório. Além da

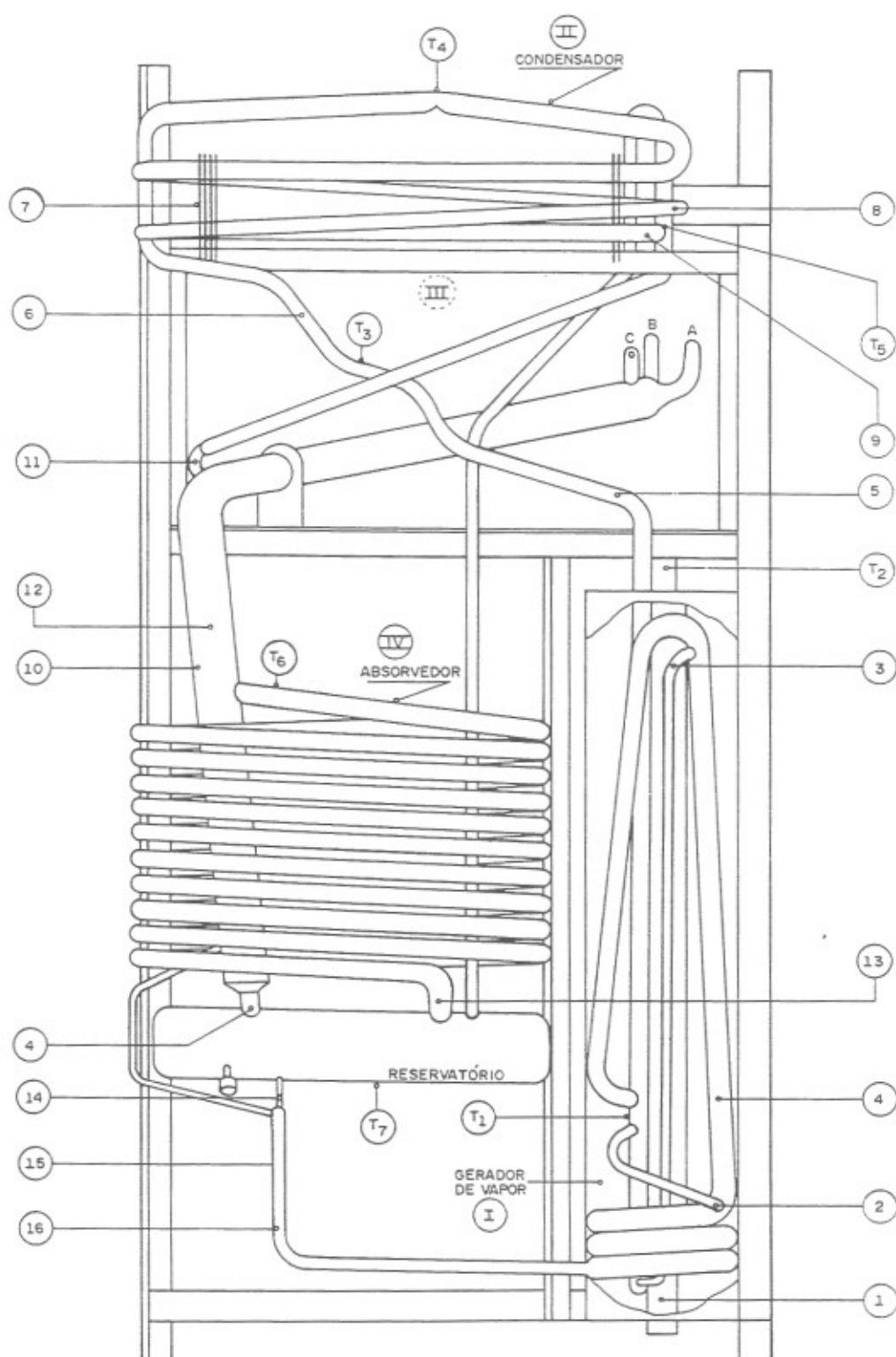


Figura 2. Sistema Platen-Munters.

circulação do NH_3 puro e das soluções pobre e rica, verifica-se a circulação do gás inerte.

Do gerador de vapor I, aquecido pela resistência elétrica 1, será expulso o vapor de NH_3 . No trocador de calor 5, resfriado a ar, são retiradas as gotas de água, completando-se o resfriamento e a retificação do vapor. Do condensador II, resfriado a ar, o refrigerante segue para o evaporador III que está localizado acima do absorvedor.

Durante a operação, o hidrogênio circula entre o evaporador e o absorvedor, contribuindo em grande proporção na pressão total do sistema. O líquido refrigerante e o hidrogênio entram na parte superior do evaporador. Ao evaporar o líquido refrigerante aumenta sua pressão parcial provocando alteração na temperatura de evaporação. Por exemplo, na entrada do evaporador o NH_3 está com pressão parcial de 1,2 atm, na saída a pressão parcial do mesmo chega a 3,6 atm, caso a temperatura máxima de evaporação for de -5°C . Esse fenômeno é utilizado para a produção de gelo no congelador e o resfriamento da parte interna da geladeira, que possuem temperaturas distintas.

O ciclo do refrigerante fecha-se com o processo de absorção. O hidrogênio circula continuamente entre o absorvedor e o evaporador, misturando-se com o NH_3 no evaporador, e descarregando a mesma para a solução pobre no absorvedor. O fluxo da solução segue entre o gerador e o absorvedor através do trocador de calor. A solução pobre resfriada sobe sozinha ao absorvedor devido a pressão da coluna do líquido no gerador.

A solução rica será aquecida pela resistência elétrica, e como já começa a formação de bolhas de vapor, a densidade desta solução rica é pequena. Assim a pressão da coluna da solução rica fria é maior e o fluxo se dá naturalmente até o gerador.

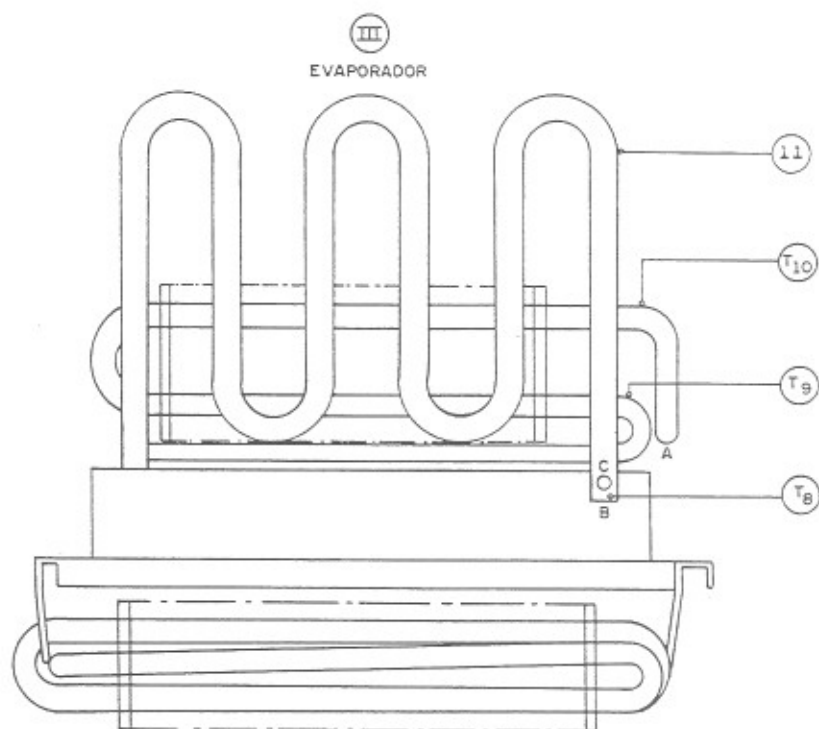


Figura 3 - Evaporador.

- 1- Fonte de calor;
- 2,3 - Solução rica é elevada pelo gás produzido;
- 4 - Devido à diferença de nível, a solução pobre se dirige até IV;
- 5, 6 - Gás de amônia separado. O vapor de água volta a cair no gerador e segue para o absorvedor;
- 7 - Refrigerador de aletas;
- 8 - Condensação da amônia por refrigeração de ar;
- 9 - Amônia líquida;
- 10 - Hidrogênio circula de IV para III;
- 11 - Devido à queda de pressão, a amônia evapora no hidrogênio e retira calor;
- 12 - Como em III a mistura é mais pesada que em IV, o nível diminui em III subindo assim em IV;
- 13 - A amônia é absorvida pela solução pobre que vai borbulhando para baixo;
- 14 - Mediante uma serpentina de calefação se produz a solução concentrada em amônia;
- 15 - Calefação prévia da solução concentrada;
- 16 - Refrigeração prévia da solução pobre.

T1 a T10 - Termopares.

COEFICIENTE DE DESEMPENHO

O coeficiente de desempenho (ζ) de um ciclo de absorção real é definido como sendo a razão entre o calor retirado pelo evaporador (Q_o) e o calor fornecido para o gerador (Q_h).

$$\zeta = \frac{Q_o}{Q_h}$$

CONTROLE DE CAPACIDADE

A maioria dos sistemas de controle nas unidades de absorção tenta regular uma temperatura constante do refrigerante que deixa o evaporador. Para cargas menores do que a plena carga de refrigeração, a capacidade de refrigeração da unidade de absorção precisa, portanto, ser reduzida. Muitos métodos são disponíveis para se conseguir esta redução, mas o efeito líquido de todos eles é o de reduzir a vazão do refrigerante. Os três métodos para reduzir a vazão de refrigerante são:

- 1) Reduzindo a vazão entregue pela bomba;
- 2) Reduzindo a temperatura do gerador;
- 3) Aumentando a temperatura de condensação.

Na montagem do laboratório o controle de capacidade é feito pela regulagem da energia térmica fornecida ao gerador, ou seja, pela temperatura do gerador.

Requer-se:

Avaliar o desempenho do sistema de refrigeração por absorção de amônia com três potências diferentes no gerador e três potências diferentes no evaporador. Para cada condição aguardar a estabilização das temperaturas e registrá-las.

Comentar os resultados com base em informações obtidas na literatura.

BIBLIOGRAFIA

- 8.1 Halász, J., «Princípios Termodinâmicos do Ciclo de Refrigeração por Absorção», 1989, FEM/UNICAMP.
- 8.2 Stoecker, W.F.; Jones, J.W., Refrigeração e Ar Condicionado, 2ª edição, 1985, Mc-Graw-Hill.
- 8.3 Threlkeld, J.L., Thermal Environmental Engineering, 2ª edição, 1970, Prentice-Hall Int., Inc.
- 8.4 ASHRAE - HANDBOOK - Fundamentals - 1979, A.S.H.R.A.E.

APÊNDICE 1

ORSAT

1. OBJETIVO
2. PRINCÍPIO
3. DESCRIÇÃO DO APARELHO
4. ASPECTOS TEÓRICOS
 - Geral
 - Combustão
 - Propriedades de Alguns Componentes
5. PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES UTILIZADAS
6. COLOCAÇÃO DAS SOLUÇÕES NO APARELHO
7. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
8. COLETA DE AMOSTRAS
9. OPERAÇÃO DO APARELHO DE ORSAT
10. MANUTENÇÃO DO APARELHO DE ORSAT
11. BIBLIOGRAFIA

1. OBJETIVO

O aparelho de Orsat, introduzido em 1847, destina-se a determinação da composição de misturas gasosas tais como: ar, combustíveis gasosos, gases de combustão, etc.

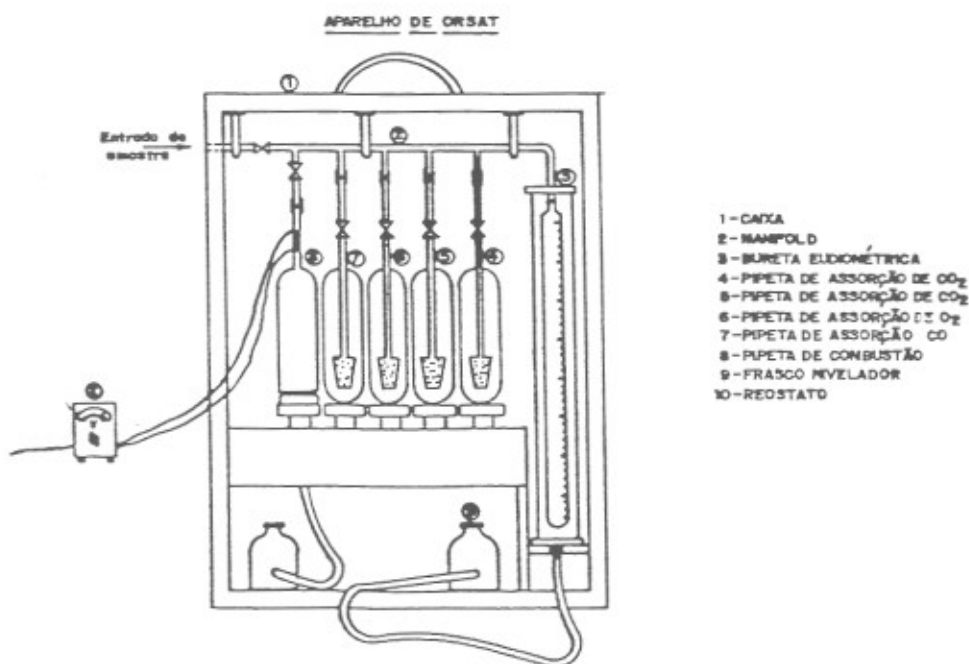
2. PRINCÍPIO

Absorção seletiva dos gases por soluções absorvedoras. A mistura de gases da amostra é posta sucessivamente em contato com as soluções absorventes. A diferença de volume após cada absorção indica o componente gasoso e sua quantidade volumétrica.

Sendo a amostra de 100 ml de gás os volumes absorvidos já indicam a porcentagem (%) volumétrica dos componentes.

3. DESCRIÇÃO DO APARELHO

A figura mostra um aparelho de Orsat próprio para a determinação de dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2) e hidrocarbonetos saturados.



A parte frontal da pipeta é chamada de bulbo de absorção. Alguns destes bulbos são preenchidos com tubos de vidros (para maior área de absorção), outros são providos de borbulhadores. Através do bulbo, a pipeta é ligada ao manifold.

4. ASPECTOS TEÓRICOS

Este aparelho é utilizado para a determinação da composição de misturas gasosas, sendo que a determinação da concentração de cada constituinte da mistura gasosa é feita por absorção ou por combustão conforme sua natureza, por este motivo é que se faz necessário inicialmente estimar a provável composição qualitativa do gás.

A determinação por absorção é feita por borbulhamento da mistura gasosa em soluções que absorvem, por reação química, cada um dos componentes. Deve-se tomar cuidado quando da escolha das soluções, pois a maioria das soluções absorvem mais de um componente, sendo assim, as absorções devem ser feitas em soluções específicas e numa certa ordem. A diferença entre o volume antes e após a absorção nos fornece o volume do constituinte. As medidas de volume devem ser feitas à mesma pressão e temperatura. Por este processo determina-se dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxigênio, hidrocarbonetos insaturados e aromáticos.

A determinação através da combustão é feita com a queima da mistura gasosa em presença de um volume conhecido de oxigênio ou ar, esta queima ocorre em uma ampola provida de um espiral de platina, aquecida através da passagem de corrente elétrica ou em forno jager.

Da queima, obtém-se dióxido de carbono e água. A determinação do dióxido de carbono formado, a contração de volume verificada e o volume de oxigênio que restou permitem estabelecer relações estequiométricas que fornece o volume dos constituintes. Assim sendo, podemos determinar quantitativamente hidrogênio e hidrocarbonetos saturados, os quais são difíceis de serem absorvidos em soluções, o monóxido de carbono também pode ser determinado por este processo.

4.1 Combustão

Combustão é a reação química de oxidação em alta temperatura de materiais, normalmente carbonáceos, com o oxigênio do ar.

Quando se dá esta reação química ocorre a liberação de energia sob forma de calor e luz.

Para haver combustão é necessário três fatores:

- a) Combustível;
- b) Comburente;
- c) Ignição.

Os resultados desta reação de combustão serão:

- a) Gases queimados;
- b) Calor;
- c) Luz.

4.1.1 Tipos de Combustão.

Completa:

Quando se realiza com a quantidade estequiométrica de oxigênio e a quantidade de calor produzido é a maior possível (nesta haverá predominância de CO_2).

Incompleta:

É quando se realiza com insuficiência de oxigênio, ou seja, com quantidade de oxigênio inferior à quantidade estequiométrica para oxidar completamente a matéria combustível (nesta haverá predominância de CO).

Os inconvenientes de CO nos gases queimados são:

- Presença de fumaça preta na chaminé (fuligem);
- Combustível sendo jogado fora pela chaminé.

Com Excesso de O_2

Quando se realiza com uma quantidade de O_2 maior que a estequiométrica, o oxigênio em excesso provoca a presença do mesmo nos gases queimados.

O inconveniente do oxigênio nos gases queimados é o calor sendo jogado fora, pois o oxigênio que entrou e saiu do forno, sem reagir, se aqueceu no mesmo.

4.2 Propriedades de Alguns Componentes Gasosos

- *Dióxido de Carbono (CO_2)*

Levemente ácido, incolor, inodoro, insípido e de fácil absorção na água, mais pesado que o ar, não apresenta toxicidade pronunciada.

Quando reage com o carbono superaquecido, produz monóxido de carbono (CO).

O CO_2 é facilmente absorvido em uma solução concentrada de Hidróxido de Potássio (KOH).

- *Oxigênio (O_2)*

Compõe o ar atmosférico em aproximadamente 21%, é incolor, inodoro e insípido. Reage facilmente com outros elementos (oxidação).

A queima do combustível é marcada por uma reação violenta do combustível e do oxigênio.

O oxigênio é determinado por meio de absorção em solução fortemente alcalina de Ácido Pirogálico que é o absorvente mais usado na determinação do oxigênio. O Ácido Pirogálico em solução alcalina é um forte agente oxidante. O oxigênio é absorvido rapidamente e em qualquer concentração.

- *Monóxido de Carbono (CO)*

Incolor, inodoro, insípido e tóxico. Com 1% de concentração no ar a morte sobrevém em 1 a 2 minutos. Queima com O_2 e produz CO_2 .

O CO é absorvido em solução de B-naftolsulfonato de cobre (I), o qual reage com monóxido de carbono e forma um complexo estável ($\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CO}$).

O B-naftolsulfonato de cobre também absorve etileno e seus homólogos e um pouco de oxigênio. Esta solução absorve 18 ml de CO por ml de solução.

5. SOLUÇÕES UTILIZADAS

5.1 Solução Confinante

Esta solução é utilizada nos frascos niveladores. O volume de solução de um dos frascos deve ser suficiente para encher a bureta eudiométrica, sem que haja infiltração de ar, e a do outro frasco ser suficiente para encher a pipeta de combustão.

A formulação da solução é a seguinte:

- a) 1200 ml de água destilada;
- b) 60 ml de ácido sulfúrico concentrado;
- c) 300 g de sulfato de sódio anidro;
- d) metilorange.

Esta solução deve ser feita em banho-maria, pois o aumento de temperatura facilita a dissolução do sal.

O mais importante quando esta solução é preparada é o borbulhamento de dióxido de carbono na mesma, pois a solução confinante absorve dióxido de carbono então, borbulha-se dióxido de carbono para que a mesma absorva o gás até entrar em equilíbrio com este.

5.2 Solução para Absorção de Dióxido de Carbono

Solução concentrada de hidróxido de potássio absorve dióxido de carbono, formando hidrogenocarbonato de potássio porém, se a mistura gasosa contiver sulfeto de hidrogênio, dióxido de enxofre e outros gases ácidos, estes serão também absorvidos pela solução alcalina, havendo assim necessidades de serem removidas previamente da amostra. 1 ml da solução de hidróxido de potássio a 33% absorve 120 ml de dióxido de carbono.

A formulação da solução para dióxido de carbono é a seguinte:

- Dissolver 90 g de hidróxido de potássio em 180 ml de água destilada.
Ao preparar esta solução deve-se tomar os seguintes cuidados:
 - a) A adição de hidróxido de potássio à água deve ser lenta e com agitação;
 - b) Como a preparação é exotérmica, deve-se usar um becker sem trincas e fazer a preparação em banho-maria;
 - c) Espere esfriar antes de colocá-la na pipeta de absorção.

5.3 Solução para Oxigênio

O oxigênio é facilmente absorvido em solução fortemente alcalina de ácido pirogálico. Esta solução deve ser preparada pouco antes do uso e deve ser fortemente alcalina, caso contrário haverá desprendimento de monóxido de carbono durante a absorção de oxigênio.

Mesmo quando a solução é fortemente alcalina pode se ter desprendimento de monóxido de carbono, caso a concentração de oxigênio seja maior que 40%. Se isto acontecer, deve-se diluir a amostra com nitrogênio, ou então remover o monóxido de carbono antes de completar a análise. As soluções alcalinas de ácido pirogálico não atuam satisfatoriamente em temperaturas abaixo de 15° C e também se na amostra gasosa houver dióxido de carbono, este deve ser eliminado antes da absorção de oxigênio.

A formulação para a solução de absorção de oxigênio é a seguinte:

- **Solução A:**

- Dissolver 12 g de ácido pirogálico em 40 ml de água destilada. Como a reação é fortemente endotérmica, utiliza-se um leve aquecimento para facilitar a dissolução.

- **Solução B:**

- Dissolver 225 g de hidróxido de potássio anidro em 150 ml de água destilada. Como a reação é exotérmica deve-se tomar os mesmos cuidados quando da preparação da solução para dióxido de carbono. 1 ml da solução de pirogalato de potássio absorve 8 ml de oxigênio.

5.4 Solução para Absorção de Monóxido de Carbono

A absorção do monóxido de carbono é feita em solução de B-naftolsulfonato de cobre (I), a qual reage com o monóxido e carbono e forma um complexo estável ($\text{CO}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CO}$). O B-naftolsulfonato de cobre também absorve etileno e seus homólogos e um pouco de oxigênio. Esta solução absorve 18 ml de monóxido de carbono por ml de solução.

A formulação para a absorção de monóxido de carbono é a seguinte: Adicione 200 ml de ácido sulfúrico concentrado a 25 ml de água destilada e deixe esfriar. Pese 20 g de óxido de cobre (I) e adicione lentamente ao ácido diluído. Esmague com um pistilo até que todo óxido de cobre fique em suspensão. Então adicione 25 g de B-naftol lentamente e com agitação. Esta solução deve ficar em repouso, protegida do ar, no mínimo por 8 horas antes de ser utilizada e deve ser conservada a uma temperatura acima de 15° C.

5.5 Solução para Hidrocarbonetos Não Saturados

Para a determinação dos hidrocarbonetos do tipo C_nH_{2m-6} é utilizado ácido sulfúrico fumegante contendo de 20 a 25% de trióxido de enxofre livre. O ácido sulfúrico fumegante absorve 8 vezes o seu volume após a absorção, o volume de gás residual não pode ser medido diretamente, pois tem-se a liberação de dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, os quais devem ser absorvidos na solução de hidróxido de potássio. Devido a isto, deve-se antes fazer a absorção de dióxido de carbono para que o mesmo não seja absorvido quando da eliminação de dióxido de enxofre e trióxido de enxofre.

6. COLOCAÇÃO DAS SOLUÇÕES NO APARELHO

Quando da montagem do aparelho deve-se tomar o cuidado de evitar vazamentos que podem contaminar a amostra da mistura a ser analisada. Geralmente estes vazamentos ocorrem nas torneiras esmerilhadas ou nas mangueiras de latex que unem as pipetas de absorção ao manifold. Para evitar tais vazamentos, lubrifique as torneiras esmerilhadas com vaselina sólida, tomando o cuidado de não obstruir a passagem do gás e use mangueiras de latex novas nas funções das pipetas com o manifold.

6.1 Solução para Absorção de CO_2

Após esfriar a solução de KOH, coloque-a na pipeta de forma que o bulbo de absorção fique cheio e o bulbo da parte traseira fique com ± 2 cm de solução, em seguida adiciona-se um pouco de vaselina líquida para isolar a solução do meio externo.

6.2 Solução para Absorção de O_2

Coloque a solução de KOH até encher o bulbo de absorção, em seguida adicione vaselina para isolar a solução do meio externo e pipete a solução de ácido pirológico sob a vaselina.

6.3 Solução para Absorção de CO

Após o descanso dessa solução, sugere-se que a mesma seja filtrada em filtro de lã de vidro ou, caso isso não seja possível, coloque na pipeta de absorção somente o sobrenadante da solução.

6.4 Solução Confinante

Coloque no frasco nivelador da pipeta de combustão e da bureta eudiométrica de forma que estas fiquem cheias e sobre um pouco nos frascos, evitando assim que entre ar durante a análise.

7. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Além das soluções apresentadas até aqui, existem várias outras que podem ser utilizadas no aparelho de Orsat para absorção dos mesmos componentes gasosos. Algumas delas que serão apresentadas a seguir, apresentam certos inconvenientes, mas dependendo das necessidades podem ser utilizadas.

7.1 Soluções para Absorção de CO_2

Solução concentrada de hidróxido de sódio (NaOH), esta exerce uma ação química muito forte sobre o vidro e forma uma substância sólida que tende a obstruir as aberturas dos tubos capilares.

7.2 Soluções para Absorção de O_2

- Solução alcalina de fósforo amarelo;
- Solução alcalina de hidrossulfito de sódio;
- Solução alcalina de cloreto de cromo.

7.3 Soluções para Absorção de CO

Solução ácida ou amoniacal de cloreto de cobre;

7.4 Soluções Confinantes

- Água: tem o inconveniente de absorver facilmente o dióxido de carbono (CO_2) e dificulta a leitura na bureta;
- Mercúrio metálico: é altamente tóxico e de custo elevado.

8. COLETA DE AMOSTRA

A coleta de amostras pode ser feita de várias maneiras, variando de acordo com as condições de amostragem. Geralmente são usadas câmaras de borracha, frascos de vidro ou teflon e frascos sifonados.

Não é aconselhável guardar amostras por muito tempo, pois parte dos componentes da mistura gasosa pode ser absorvida pela solução confinante ou permear através da borracha, alternando a composição da mistura.

9. OPERAÇÃO DO APARELHO DE ORSAT

Para início da análise é necessário tomar o seguinte procedimento:

- Eleve o nível das soluções até os capilares das pipetas próximos às torneiras esmerilhadas;
- Eleve o nível da solução confinante até o capilar superior da bureta eudiométrica;
- Verifique se as torneiras estão fechadas e coloque o frasco nivelador sobre o aparelho por aproximadamente 3 minutos. Verifique se os níveis das soluções permaneceram na posição inicial, caso isto não ocorra procure o vazamento nas pipetas;
- Ligue o recipiente com a amostra de gás a analisar com a bureta e, abaixando o frasco nivelador, admite-se o gás a analisar até que o líquido atinja o traço inferior da bureta. Expelir esse gás para a atmosfera e repetir esta operação mais duas vezes, só então recolher 100 ml do gás para ser analisado.

Na leitura de volumes deve-se adotar um só referencial, ou seja, nivele o frasco nivelador com o menisco do líquido e faça a leitura por baixo ou por cima do mesmo.

9.1 Absorção dos Gases

Nas pipetas de absorção de CO_2 , tem-se as torneiras esmerilhadas de uma só via, então levante o frasco nivelador e abra a torneira. Com o movimento do frasco nivelador para cima e para baixo, faça a amostra entrar em contato com a solução várias vezes. Retorne o gás para a bureta eudiométrica, feche a torneira e faça a leitura de volume conforme procedimento adotado anteriormente. Repita a análise, até que o volume de gás absorvido não se altere, anote o valor lido numa planilha que será apresentada adiante.

Em seguida, passe a amostra na pipeta de absorção de O_2 , que contém uma torneira esmerilhada de duas vias, nesta o cuidado é maior, levante o frasco nivelador e abra a torneira com as duas vias para baixo, para o nível da solução baixar um pouco.

Gire a torneira em 1/2 volta, para permitir que a amostra passe por dentro de um tubo capilar da pipeta indo borbulhar dentro da solução. Gire a torneira em 1/4 de volta e abaixe o frasco nivelador até a solução da pipeta subir. Gire a torneira em mais 1/4 de volta e levante o frasco nivelador para a mistura borbulhar na solução absorvedora novamente. Repita a operação e em seguida faça a leitura do volume de gás, repita todo o procedimento até que a leitura de volume não se altere, anote o valor lido na planilha.

Para absorção de CO siga o mesmo procedimento adotado na absorção de O_2 . Após a absorção, admite-se que na mistura gasosa restam apenas dois componentes combustíveis (CH_4 e H_2) e nitrogênio que é inerte. Dependendo da concentração de CH_4 e H_2 , durante a combustão pode ocorrer uma reação violenta com o oxigênio, vindo a estourar as pipetas. Por isso, é necessário ter-se idéia da composição da mistura para diluir mais ou menos o CH_4 e H_2 .

A combustão é feita da seguinte maneira:

- a) Adicione oxigênio o suficiente para que se tenha um pequeno excesso em relação ao necessário para uma combustão estequiométrica.
- b) Anote este volume inicial (v_i);
- c) Introduza uma pequena quantidade de gás na pipeta de combustão (o suficiente para que o nível da solução desça abaixo do filamento);
- d) Ligue a resistência e espere que a mesma aqueça até o rubro;

- e) Faça com que todo gás que está contido na bureta eudiométrica passe lentamente (velocidade baixa) pela resistência com o auxílio do frasco nivelador;
OBS:- A queima deve ser muito lenta para evitar que haja uma explosão na pipeta de combustão.
- f) Após a primeira queima, retorne o gás para a bureta e torne a fazer mais uma queima;
- g) Desligue a resistência e espere esfriar;
- h) Coloque o nível da solução da pipeta de combustão no mesmo referencial e anote o novo volume (vf);
- i) Passe o gás na pipeta de CO_2 para fazer nova absorção, pois todo hidrocarboneto quando queimado transforma-se em CO_2 e H_2O ;
- j) Cálculos de metano e hidrogênio



Pelas reações I e II observa-se que para cada 2 volumes de H_2 , haverá contração de 3 volumes, e para cada volume de CH_4 , haverá contração de 2 volumes. Se k = volume de contração, então:

$$v_i = v_{\text{gas}} + V_{\text{O}_2}$$

$$v_f = \text{volume final}$$

$$k = v_i - v_f$$

$\% \text{CH}_4 = v_{\text{CO}_2}$ absorvido após a queima (todo o CO_2 é tido como metano porque caso haja algum outro hidrocarboneto que seja em uma quantidade que possa ser determinada pela absorção, o mesmo deve ser determinado, caso contrário ele é queimado).

$$\% \text{H}_2 = \frac{2k - 4 (\% \text{CH}_4)}{3}$$

$$\% \text{N}_2 = 100 - \Sigma (\% \text{xi})$$

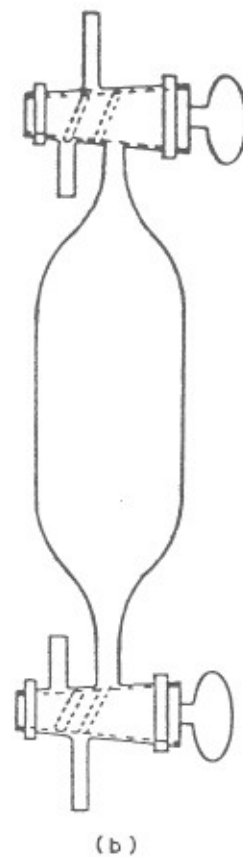
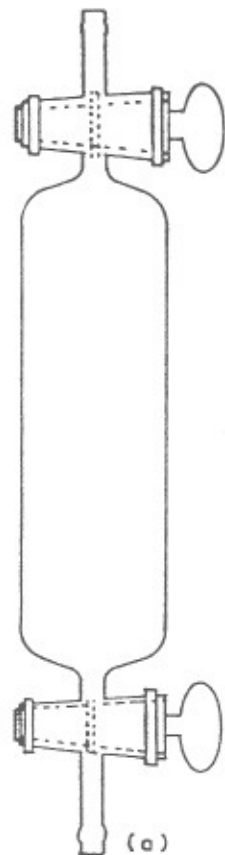
10. MANUTENÇÃO DO APARELHO DE ORSAT

As soluções para absorção, saturam-se com o decorrer das análises; para avaliarmos isto, basta notar se há dificuldades na absorção dos componentes gasosos ou se a solução de absorção de CO_2 está turva. Detectando estes problemas proceda da seguinte forma:

- Retire as pipetas de absorção;
- Jogue as soluções em água corrente;
- Lave as pipetas com detergente e deixe-as secarem;
- Lubrifique as torneiras esmerilhadas;
- Coloque soluções novas nas pipetas;
- Verifique novamente se há vazamentos.

11. BIBLIOGRAFIA

- Manual de Operação do Aparelho de Orsat,
Marilyn Mariano dos Santos, IPT/AET.
- Apostila: Controle de Combustão,
José Aníbal F. Rodrigues;
Cosipa/GEU.
- Apostila: Procedimento para Análise de Gás de Alto Forno,
LIPERTI.
- Manual de Operações com o Aparelho Orsat,
Francisco G. Garcia & Cia. Ltda.
- Brochura: Medição de Concentração em Gases de Combustão e Gaseificação,
Renato Verganhanini Filho,
IPT-CNP-FINEP.
- Geradores de Vapor D'Água,
Hildo Pera,
Editora Fama.



a - Torneiras com uma via

b - Torneiras com duas vias

Figura 2 - Frascos para coleta de gás

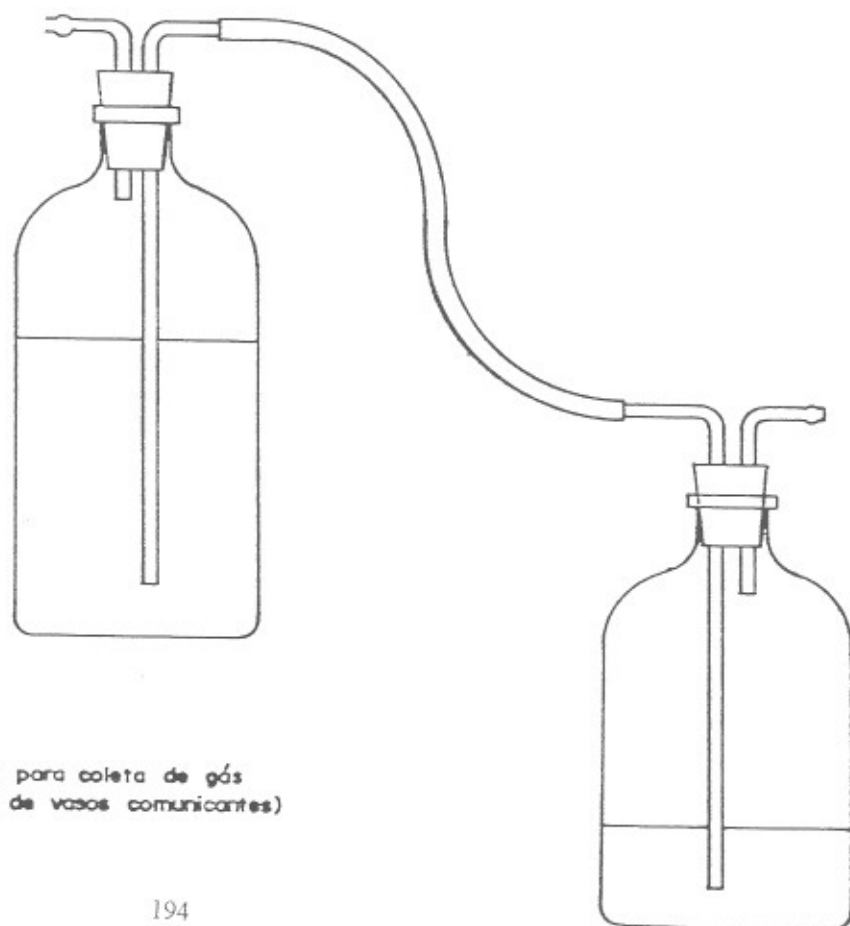


Figura 2.1 - Frascos para coleta de gás
(sistema de vasos comunicantes)

ANÁLISE DE ORSAT

Amostra N° _____

	COLETA	ANÁLISE
Data		
Horário		
Responsável		

Tomar $v_o = 100$ ml

Gás Absorvido	Vol. Abs.	Vol. Abs.	Vol. Abs.	Vol. Abs.	Vol. Abs.	Vol. Abs.	Vol. Abs.

- Tomar $V_{O_2} \cong 20$ ml

$$V_{Ti} = V_q + V_{O_2} \rightarrow V_{Ti}$$

- Após combustão. medir $V_{Ti} \rightarrow V_{Tf}$

$$V_{cont} = V_{Ti} - V_{Tf} \rightarrow V_{cont}$$

- Após nova absorção de CO_2 . medir $V_d \rightarrow V_f$

$$(\% CO_2) = (\% CH_4) = (V_{Ti} - V_d)$$

$$(\% H_2) = \frac{2 \cdot V_{cont} - 4 \cdot (\% CH_4)}{3} =$$

$$(\% N_2) = 100 - \Sigma(\% X_i)$$

Gas	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
Conc.						

ANEXO 2 – O FORMATO TRADICIONAL DA DISCIPLINA EM 959

A seguir, as regras de funcionamento da Disciplina Laboratório de Sistemas nos seus moldes tradicionais. Note que o documento “Normas de Trabalho”, na página 202, instrui inclusive sobre como o aluno deveria montar os seus relatórios, não permitindo nenhuma abertura para qualquer contribuição que o aluno pudesse tentar dar à disciplina.

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

Cronograma de Atividades - 1º Semestre/1996

TURMA A - SEGUNDA-FEIRA - 14:00 ÀS 17:00 h.

Data das Aulas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
04/03		Apresentação	
11/03		Discussão	
18/03	1	8	6
25/03	1	7	2
01/04	1	2	7
08/04		Discussão	
15/04	4	1	5
22/04	2	1	8
29/04	6	1	4
06/05		Discussão	
13/05	5	4	1
20/05	3	6	1
27/05	7	3	1
03/06	8	5	3
10/06	Entrega e Revisão dos Relatórios		
17/06	Prova Individual Escrita		
26/06	Exame Final		

- **Bibliografia:** *Textos de Laboratório e Referências*

- **Professores:** *Caio Glauco Sanchez*
Araí Augusta Bernárdez Pécora
Paulo Roberto Tardin Jr. (PECD)

Experimentos	Prof. Responsável
1. Câmara de Combustão Contínua	Caio G. Sanchez
2. Sistema de Propulsão RANJET	Caio G. Sanchez
3. Sistema de Propulsão PULSEJET	Caio G. Sanchez
4. Trocador de Calor de Tubo Duplo	Paulo R. Tardin Jr.

5. Aquecedor de Água a Gás
6. Calorímetro a Gás
7. Ciclo de Compressão a Vapor
8. Refrigeração por Absorção

Araí A. B. Pécora
Araí A. B. Pécora
Paulo R. Tardin Jr.
Caio G. Sanchez

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

Cronograma de Atividades - 1º Semestre/1996

TURMA B - TERÇA-FEIRA - 14:00 ÀS 17:00 h.

Data das Aulas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
05/03		Apresentação	
12/03		Discussão	
19/03	1	8	6
26/03	1	7	2
02/04	1	2	7
09/04		Discussão	
16/04	4	1	5
23/04	2	1	8
30/04	6	1	4
07/05		Discussão	
14/05	5	4	1
21/05	3	6	1
28/05	7	3	1
04/06	8	5	3
11/06		Entrega e Revisão dos Relatórios	
18/06		Prova Individual Escrita	
26/06		Exame Final	

- **Bibliografia:** *Textos de Laboratório e Referências*

- **Professores:** *Caio Glauco Sanchez*
Araí Augusta Bernárdez Pécora
Paulo Roberto Tardin Jr. (PECD)

Experimentos	Prof. Responsável
1. Câmara de Combustão Contínua	Caio G. Sanchez
2. Sistema de Propulsão RANJET	Caio G. Sanchez
3. Sistema de Propulsão PULSEJET	Caio G. Sanchez
4. Trocador de Calor de Tubo Duplo	Paulo R. Tardin Jr.
5. Aquecedor de Água a Gás	Araí A. B. Pécora
6. Calorímetro a Gás	Araí A. B. Pécora
7. Ciclo de Compressão a Vapor	Paulo R. Tardin Jr.
8. Refrigeração por Absorção	Caio G. Sanchez

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

Cronograma de Atividades - 1º Semestre/1996

TURMA C - QUARTA-FEIRA - 14:00 ÀS 17:00 h.

Data das Aulas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
06/03		Apresentação	
13/03		Discussão	
20/03	1	8	6
27/03	1	7	2
03/04	1	2	7
10/04		Discussão	
17/04	4	1	5
24/04	2	1	8
01/05	6	1	4
08/05		Discussão	
15/05	5	4	1
22/05	3	6	1
29/05	7	3	1
05/06	8	5	3
12/06		Entrega e Revisão dos Relatórios	
19/06		Prova Individual Escrita	
26/06		Exame Final	

- **Bibliografia:** *Textos de Laboratório e Referências*

- **Professores:** *Caio Glauco Sanchez*
Araí Augusta Bernárdez Pécora
Paulo Roberto Tardin Jr. (PECD)

Experimentos	Prof. Responsável
1. Câmara de Combustão Contínua	Caio G. Sanchez
2. Sistema de Propulsão RANJET	Caio G. Sanchez
3. Sistema de Propulsão PULSEJET	Caio G. Sanchez
4. Trocador de Calor de Tubo Duplo	Paulo R. Tardin Jr.
5. Aquecedor de Água a Gás	Paulo R. Tardin Jr.
6. Calorímetro a Gás	Paulo R. Tardin Jr.
7. Ciclo de Compressão a Vapor	Paulo R. Tardin Jr.
8. Refrigeração por Absorção	Caio G. Sanchez

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

Cronograma de Atividades - 1º Semestre/1996

TURMA D - SEXTA-FEIRA - 14:00 ÀS 17:00 h.

Data das Aulas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
08/03		Apresentação	
15/03		Discussão	
22/03	1	8	6
29/03	1	7	2
05/04	1	2	7
12/04		Discussão	
19/04	4	1	5
26/04	2	1	8
03/05	6	1	4
10/05		Discussão	
17/05	5	4	1
24/05	3	6	1
31/05	7	3	1
07/06	8	5	3
14/06		Entrega e Revisão dos Relatórios	
21/06		Prova Individual Escrita	
26/06		Exame Final	

- Bibliografia:** *Textos de Laboratório e Referências*

- Professores:** *Caio Glauco Sanchez*
Araí Augusta Bernárdez Pécora
Paulo Roberto Tardin Jr. (PECD)

Experimentos	Prof. Responsável
1. Câmara de Combustão Contínua	Caio G. Sanchez
2. Sistema de Propulsão RANJET	Caio G. Sanchez
3. Sistema de Propulsão PULSEJET	Caio G. Sanchez
4. Trocador de Calor de Tubo Duplo	Paulo R. Tardin Jr.
5. Aquecedor de Água a Gás	Araí A. B. Pécora
6. Calorímetro a Gás	Araí A. B. Pécora
7. Ciclo de Compressão a Vapor	Paulo R. Tardin Jr.
8. Refrigeração por Absorção	Caio G. Sanchez

FEM – FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA DETF - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS

EM 959 - LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS

NORMAS DE TRABALHO

1. Os trabalhos experimentais serão realizados por grupos de alunos, com no máximo 05 componentes por grupo. Os grupos serão formados na aula de *apresentação*, não sendo permitidas alterações nos mesmos ao longo do semestre.
2. As experiências só poderão ser iniciadas com autorização do professor responsável, tendo início às 14:00 h, com tolerância máxima de 30 minutos.
3. Todos os experimentos serão realizados de acordo com as seguintes etapas:
 - Discussão prévia, em laboratório, dos experimentos;
 - Entrega do *Relatório Preliminar* e obtenção dos dados experimentais, ambos relativos a mesma experiência, e
 - Entrega do *Relatório Conclusivo*, impreterivelmente na semana seguinte à experiência.
4. O *Relatório Preliminar* deverá ser entregue antes da realização do experimento contendo os seguintes itens:
 - Objetivos;
 - Introdução teórica;
 - *Lay-Out* do sistema experimental;
 - Procedimento experimental;
 - Dedução das equações utilizadas;
 - Rotina de cálculo, desde a aquisição dos dados até a determinação das variáveis desejadas;
 - Previsão do comportamento das variáveis analisadas através de gráficos que serão feitos com os dados experimentais futuramente obtidos no *Relatório Conclusivo*, e
 - Referências Bibliográficas.
5. O *Relatório Conclusivo* deverá ser entregue uma semana após a realização do experimento contendo os seguintes itens:
 - Apresentação dos dados experimentais;
 - Cálculos e análise dos resultados;
 - Conclusões e sugestões para experimentos futuros;
 - Dificuldades experimentais encontradas, e
 - Referências bibliográficas.

6. O aluno que não comparecer a discussão prévia acima referida, deverá entregar seu *relatório preliminar* individualmente.
7. A folha de dados do experimento realizado deverá ser entregue ao professor responsável pelo experimento ao final da aula. Todos os alunos de cada grupo de trabalho deverão assinar a folha de presença no ato da entrega da folha de dados.
8. Durante a execução do experimento, um aluno de cada grupo, escolhido aleatoriamente, será chamado para arguição oral, sendo sua nota, denominada *Nota de Participação*, atribuída a todo o grupo. Caso o aluno não se sinta preparado, sua nota de participação será nula e um outro aluno do mesmo grupo será escolhido, não mais podendo eximir-se de responder as perguntas.
9. No caso de um aluno não comparecer a um determinado experimento, será atribuído ao mesmo nota zero no respectivo relatório conclusivo. O grupo pode optar pela não realização do experimento quando algum aluno ficar impossibilitado de comparecer ao laboratório. Neste caso, o experimento deverá ser realizado em horário extra-aula.
10. Ao final de cada aula, o grupo deverá indicar na folha de dados se a experiência foi terminada ou não.
11. A reposição de uma determinada experiência será feita em horário extra-aula, com o grupo combinando previamente com o professor responsável a data e o horário da reposição.
12. Dúvidas sobre a confecção dos relatórios deverão ser esclarecidas com o professor responsável, preferencialmente no horário de aula.
13. Cada experimento será avaliado da seguinte forma:
 - Relatório Preliminar - 4,5 pontos no máximo;
 - Nota de Participação - 1,0 ponto no máximo, e
 - Relatório Conclusivo - 4,5 pontos no máximo.
14. Será feita uma média aritmética para avaliação de todos os relatórios, denominada nota média dos experimentos (ME).
15. Após a realização de todos os experimentos e a entrega dos relatórios corrigidos aos alunos, será realizada uma prova individual escrita (PE), precedida por uma aula destinada à revisão dos relatórios, conforme cronograma em anexo.
16. A prova escrita individual versará sobre os assuntos relativos à matéria relacionada com as experiências realizadas.
17. A nota final (NF) será dada como segue: $NF = (ME + PE)/2$
18. Os alunos que não obtiverem uma nota final NF igual ou superior a 5,0 deverão fazer um exame final individual.

OBSERVAÇÕES:

- No caso de não estar junto ao sistema experimental todo o material necessário, o grupo deverá requisitar junto ao professor ou técnico responsável tal material, não o retirando de outros sistemas experimentais.
- O material didático denominado *Textos de Laboratório* referente a cada experimento, entregue na aula de apresentação, constitui apenas um roteiro para a elaboração dos relatórios, de modo que os grupos de trabalho devem procurar mais informações nas referências bibliográficas citadas.

INSTRUÇÕES GERAIS PARA USO E PERMANÊNCIA NO LABORATÓRIO:

- É **TERMINANTEMENTE PROIBIDO FUMAR** dentro do laboratório.
- No início de cada experimento, registre a pressão barométrica e a temperatura ambiente, de bulbo úmido e seco.
- Quando trabalhando com GÁS COMBUSTÍVEL, ao primeiro sinal de perigo, feche o registro de gás localizado junto a rede de distribuição.
- Qualquer problema referente ao sistema experimental deve ser comunicado de imediato ao professor ou técnico responsável.
- Os instrumentos adicionais utilizados durante o experimento devem ser entregues ao final da aula para o professor ou técnico responsável.
- Após a realização do experimento, deixe o sistema em ordem, pronto para a próxima experiência.