

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE AQUECIMENTO DE BANHOS DE DECAPAGEM DE ARAMES¹

Pedro Magalhães Sobrinho²

Resumo

Neste trabalho foi analisado a viabilidade técnica e econômica para a substituição do processo de aquecimento de banho de fosfatização e de sabão destinado a decapagem de arames na planta industrial da Aços Villares de Pindamonhangaba-SP. Inicialmente estudou-se a possibilidade de uma substituição simples do processo de aquecimento do banho através da modificação do processo, onde identificou-se a inviabilidade econômica perante a situação encontrada. Desta maneira, procedeu-se o estudo de reaproveitamento de calor residual oriundo de gases de escape de forno, onde identificou-se a possibilidade de geração de frio através de máquina de absorção para emprego em processo de tratamento térmico próximo ao processo de decapagem de arame. Estes estudos apresentaram-se com viabilidade técnica-econômica em um prazo de retorno de investimento bastante aceitável.

Palavras-chave: Arame; Banho; Conservação de energia.

¹ *XXVI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, 24 a 26 de agosto de 2005, Salvador, BA*

² *Gerente de Fábrica da Air Products Brasil LTDA, Unidade de Guaíba Plant Manager - Air Products Brasil LTDA*

1 INTRODUÇÃO

O conceito de eficiência energética acentuou-se no Brasil somente após crise do “apagão”, onde de maneira forçada as empresas identificaram os desperdícios de energia no setor elétrico. Com isso outras utilidades também foram beneficiadas, posto que, a filosofia de custo e confiabilidade das utilidades começaram a influenciar de maneira estratégica no produto final de cada empresa.

Com este objetivo neste trabalho foi analisado a viabilidade técnica e econômica para a substituição do processo de aquecimento de banho de fosfatização e de sabão destinado a decapagem de arames na planta industrial da Aços Villares de Pindamonhangaba- SP, visto que o processo existente, mostrava-se pouco eficiente e com grandes perdas.

O processo existente baseia-se no aquecimento do banho através de vapor gerado por uma caldeira localizada a cerca de 2 Km do local, caracterizando uma perda significativa de energia no processo. Assim, inicialmente estudou-se a possibilidade de uma substituição simples do processo de aquecimento do banho através da modificação do processo.

No caso foram estudados a viabilidade do emprego de aquecimento indutivo (elétrico), aquecimento por fluido térmico/gás natural e aquecimento por vapor de caldeira de menor porte, próximo ao banho.

Para estes casos identificou-se a inviabilidade econômica perante a situação encontrada. Desta maneira, procedeu-se o estudo de reaproveitamento de calor residual oriundo de gases de escape de forno.

Nesta etapa do estudo dado ao grande calor residual gerado pelo forno, além da possibilidade de geração de vapor para aquecimento do banho de decapagem, identificou-se uma oportunidade de gerar frio através de máquina de absorção para emprego em processo de tratamento térmico próximo.

Nestes casos foram encontrados viabilidades técnicas-econômicas em um prazo de retorno de investimento bastante aceitável.

O desenvolvimento deste trabalho seguiu uma metodologia baseada na experiência de trabalhos similares já realizados em diversas instalações industriais. De forma resumida, a metodologia adotada neste trabalho constou das seguintes etapas:

- Análise prévia da documentação (diagramas, históricos do consumo de energia elétrica e térmica, relação de cargas, históricos de produção, etc.);
- Visitas aos locais para conhecimento das instalações e identificação dos ambientes;
- Entrevista com pessoal de Operação, Processo e Manutenção para coletar informações sobre aspectos operacionais, necessidades de processo, conservação dos equipamentos, etc.;
- Levantamento de amostra representativa das instalações e equipamentos;
- Levantamento das oportunidades de redução dos desperdícios identificados;
- Estabelecimento de formas de correção pela implantação de novos sistemas ou pela mudança dos hábitos de utilização de energia, com a respectiva análise de custo x benefício.

2 CARACTERÍSTICAS DO BANHO DE DECAPAGEM

O processo de banho de decapagem é constituído de 05 tanques sendo 2 tanques destinados a banhos de estearato de sódio (sabão) com revestimento térmico e 3 tanques para banho de fosfato de zinco sem revestimento, o tempo de

funcionamento do processo é de 24 horas a massa de arame varia de 1800 a 2000 kg e a temperatura do banho de sabão e de fosfato de zinco varia de 60°C a 70°C, cada tanque tem a capacidade de 16 m³ e o consumo de vapor no processo partindo da temperatura ambiente para a de trabalho, o valor aproximado é de 1300 kg/h, depois de aquecido, é necessário de 500 a 600 kg/h a uma pressão de 10 bar.

3 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALOR NECESSÁRIA PARA O AQUECIMENTO DOS BANHOS

Para o desenvolvimento dos cálculos referentes a determinação do calor necessário para o aquecimento dos banhos de maneira que o sistema não seja superdimensionado, segue algumas considerações:

A vazão de 600 kg / h;

Pressão de vapor = 10 bar = 1,01 MPa;

Considerando vapor saturado seco com título =1;

Teremos as seguintes características para o vapor; (SONNTAG, 1991)

Temperatura de vapor = $T_s = 180,34$ °C;

Entalpia = $h_v = 2.778$ kJ/kg;

Entropia = $S = 6,583$ kJ/kg K;

Volume específico = $v = 0,19261$ m³/kg;

Energia interna = $u = 2584$ kJ/kg;

Temperatura de saída da serpentina seja de 90°C.

O próximo passo é a determinação do coeficiente global da serpentina existente, já que é de interesse aproveitar a mesma.

De acordo com os dados de transferência de calor, tem-se os seguintes valores médios tabelados (FUPAI, 1986) para o coeficiente de transmissão de calor para tubos submersos nos referidos banhos com temperatura na ordem de 70 °C .

$U = 150$ Kcal / h m² °C

$A = 5,74$ m²

A capacidade de transferência de calor de cada serpentina é dada por (FUPAI, 1986):

$$Q = U \times A (T_2 - T_1) \quad (1)$$

onde:

Q= Capacidade de transferência de calor da serpentina

U = Coeficiente global da transferência de calor da serpentina para o conteúdo do tanque

A = área da serpentina de aquecimento

T_1 = Temperatura média do conteúdo

T_2 = Temperatura média da superfície de aquecimento

Considerando um fator de segurança de 15 %, tem-se que $Q = 323.150$ kcal/h, para todo o banho.

4 ESCOLHA PRELIMINAR PARA SUBSTITUIÇÃO DO PROCESSO DE AQUECIMENTO DO BANHO

Para proceder a escolha do sistema de aquecimento mais adequado, compara-se o custo investimento em US\$ / m³ de banho e custo operacional com eletricidade ou gás natural (US\$ /h).

Assim sendo, considera-se três sistemas de acordo com pesquisa de equipamentos disponíveis no mercado:

- 1- Aquecimento indutivo (elétrico)
- 2- Aquecimento por fluido térmico/gás natural
- 3- Aquecimento por vapor de caldeira

O sistema que apresentar o menor custo de banho em US\$ / m³ será o mais viável economicamente para a aplicação na planta industrial em questão.

Desta maneira, comparando os resultados obtidos no estudo com o custo existente temos os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação do custo de aquecimento do banho de decapagem de arames.

Sistema de Aquecimento	Investimento Total US\$	Investimento Específico US\$ /m ³	Custo Operacional US\$ / h
Aquecimento indutivo (elétrico) Empregando fluido térmico	80.821,86	1.010,28	21,25
Aquecimento indutivo (elétrico) Sem fluido Térmico	76.287,29	953,60	18,89
Aquecimento por fluido térmico/gás natural	65.538,38	819,23	10,89
Aquecimento por vapor de caldeira/ gás natural	36.256,00	453,20	11,02
Aquecimento por vapor a partir do sistema existente	-	-	3,62

Devido aos resultados encontrados procedeu-se novo estudo de oportunidades através de reaproveitamento de calor residual.

5 OPORTUNIDADES DE REDUÇÃO DE CUSTO NO AQUECIMENTO DO BANHO DE DECAPAGEM DE ARAMES ATRAVÉS DE APROVEITAMENTO DE CALOR RESIDUAL.

Analisando as oportunidades de reaproveitamento de calor na planta industrial identificou-se a possibilidade da utilização dos gases de escape de um forno próximo com as características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Característica do Forno

DADOS	MÉDIA MÍNIMA	MÉDIA MÁXIMA
Temperatura de exaustão dos gases de combustão	420 °C	450 °C
Vazão de gases	34.992,1 m ³ /h	-

Baseando-se na característica, foi possível identificar as possibilidades para redução de custos com vapor, conforme apresentado nas Tabela 3, sendo que essas possibilidades são ilustradas nas Figuras de 1 a 3.

Tabela 3. Potencial de redução de custos com vapor identificados no consumo de vapor na banho de decapagem de arames.

OPÇÃO	OPORTUNIDADE
A	Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de vapor para aquecimento do banho de decapagem de arame. E instalação de um sistema de termoacumulação visando o reaproveitamento do calor residual, atendendo as necessidades de frio do sistema de resfriamento utilizado no forno de alta convecção. figura 01
B	Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de valor para aquecimento do banho de decapagem de arame. figura 02
C	Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando aquecimento do banho de decapagem de arame. figura 03

6 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALOR LIBERADO PELO FORNO

Considerando dados colhidos durante a operação normal do forno temos os dados apresentados na Tabela 4:

Tabela 4. Dados característicos da operação do forno.

Local	Vazão de ar (m ³ /h)	Vazão de Gás Natural (m ³ /h)
Zona 1	101,3	100,8
Zona 2	11.880,0	1.000,0
Zona 3	12.154,0	1.140,0
Zona 4	3.379,0	265,0
Zona 5	4.596,0	376,0
Total	32110,30	2881,8

Vazão total de gases: 34.992,1 m³/h

Relação Ar / Combustível : 11,14

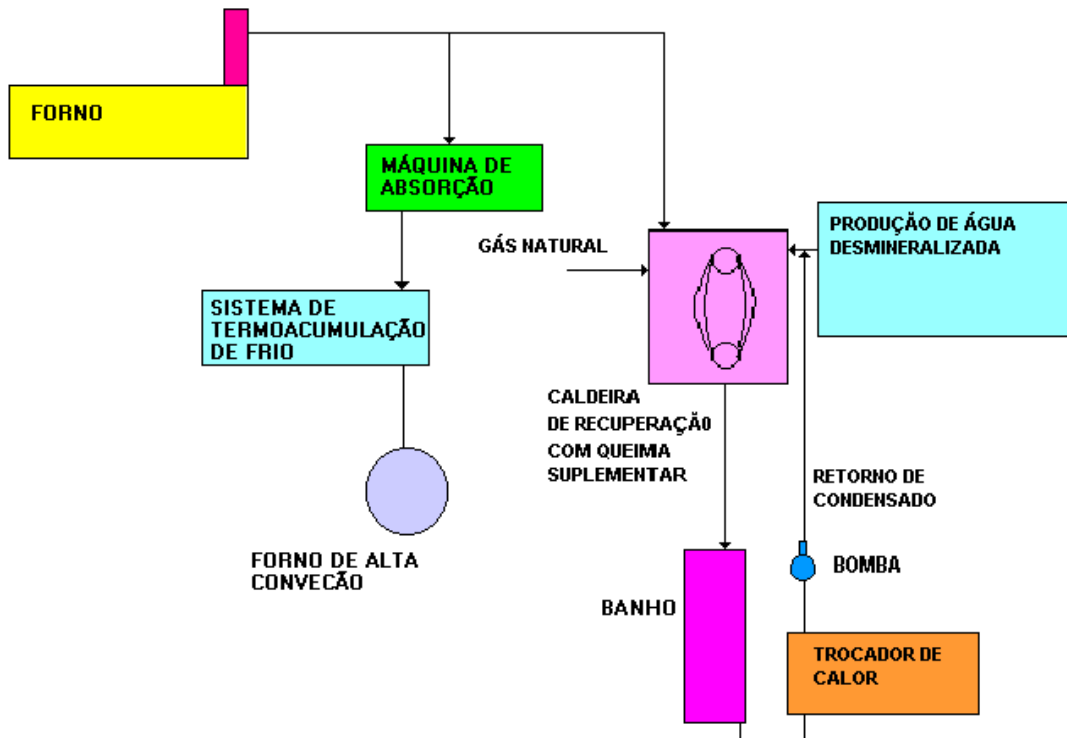


Figura 1. Opção A - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de vapor para aquecimento do banho de decapagem de arame. E instalação de um sistema de termoacumulação visando o reaproveitamento do calor residual, atendendo as necessidades de frio do sistema de resfriamento utilizado no forno de alta convecção.

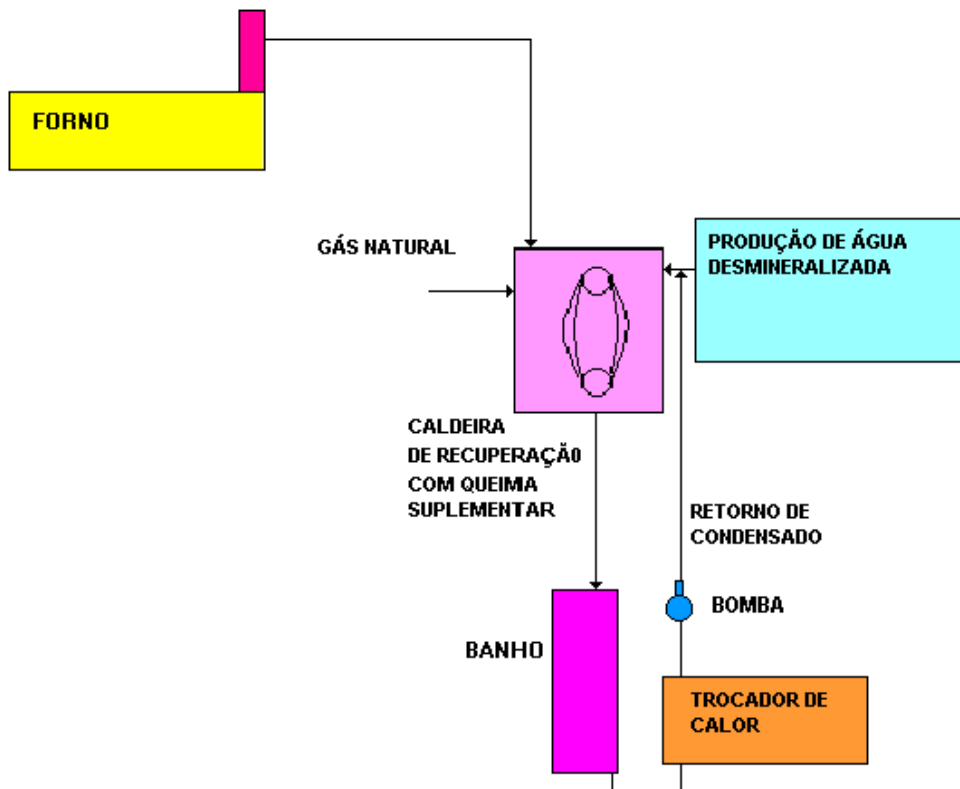


Figura 2. Opção B - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de vapor para aquecimento do banho de decapagem de arame.

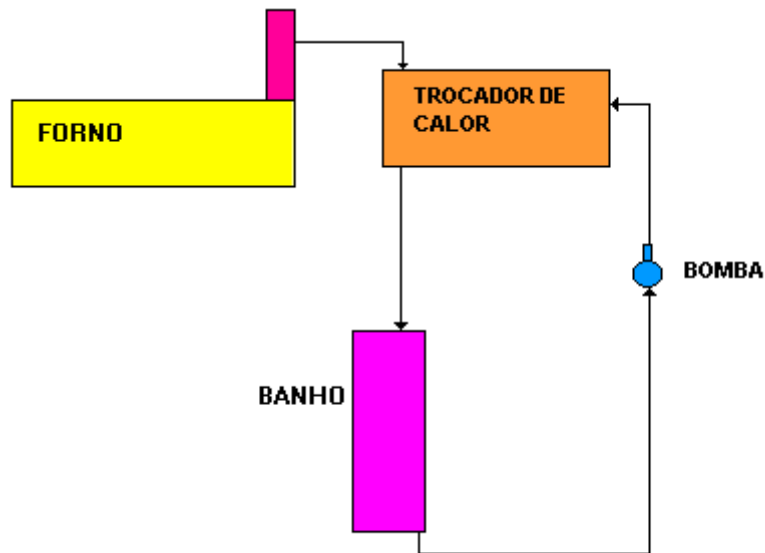
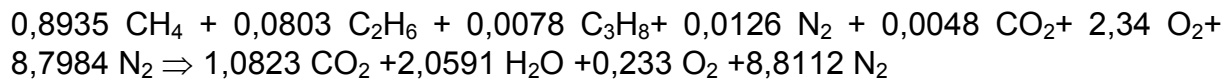


Figura 3. Opção C - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando aquecimento do banho de decapagem de arame.

Considerando a reação de combustão dado por:



Sendo que 1 mol de combustível queimado gera:

Podemos determinar a massa específica dos gases de escape dada por:

$$\rho = 0,5336 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Desta maneira a vazão mássica dos gases de escape do forno é dado por:

$$M_{\text{gases forno}} = \text{Vazão total de gases} \times \text{massa específica dos gases}$$

$$M_{\text{gases forno}} = 34.992,1 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,5336 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$M_{\text{gases forno}} = 18.671,78 \text{ kg} / \text{h}$$

Sendo que, este calor pode ser aproveitado para gerar vapor em uma caldeira de recuperação e atender as necessidades de vapor, do processo de banho de decapagem de arames, consideraremos que em um trocador de calor entrando os gases a 420°C (Te) e saindo a 150°C (s), podemos ter disponível como energia térmica para o processo :

Calor específico dos gases de exaustão: 1,13 kJ/kg .K

Sendo o calor disponível dado pela equação (2)

$$Q = M_{\text{gases forno}} \times C_p \times (T_s - T_e) \quad (2)$$

Substituindo temos;

Quantidade de calor disponível nos gases de escape do forno é de 1.360.648 kcal / h.

6.1 Cálculo da Quantidade de Calor Necessária para Atender as Necessidades Térmicas do Sistema de Banho de Decapagem de Arames (Geração de Vapor) – OPÇÃO A.

Considerando:

Vazão de água (m): 1,3 ton / h

Temperatura da água desmineralizada = 25°C

Temperatura do vapor : 130 °C
Pressão de trabalho do vapor: 10 kg/cm²

Entalpia da água(he): 104,87 kJ/kg

Entalpia do vapor (hs): 2778 kJ/kg

A quantidade de calor necessária é dado pela equação (4)

$$Q = m \times (h_s - h_e) \quad (4)$$

Substituindo temos que a quantidade de calor necessária para atender as necessidades térmicas do sistema de banho de decapagem de arames 830.006 kcal / h

Desta maneira concluímos que temos energia suficiente para atender as necessidades de processo e ainda encontra-se disponível 530.642 kcal/h (~175 TR). Este calor residual poderia ser aplicado em um sistema de refrigeração por absorção a base de amônia, contemplado em um sistema de termoacumulação atendendo as necessidade de refrigeração pertinentes ao forno de alta confecção, no Prédio de Arames.

7 ANÁLISE ECONÔMICA DAS OPÇÕES TÉCNICAS

Opção A - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de valor para aquecimento do banho de decapagem de arame. E instalação de um sistema de termoacumulação visando o reaproveitamento do calor residual, atendendo as necessidades de frio do sistema de resfriamento utilizado no forno de alta convecção.

À considerar:

-O excedente de calor dos gases do forno, disponível para um reaproveitamento energético, seria da ordem de 530.642 Kcal o qual poderia ser disponibilizado em forma de frio (aproximadamente 175 TR).

-O consumo de frio no processo de fabricação empregado no forno de alta convecção na fábrica de arames é da ordem de 15 TR. Desta maneira pode-se com folga reaproveitar esta energia residual.

Custos envolvidos considerados no estudo econômico (valor teóricos á nível internacional):

- Máquina de absorção: 600 – 700 US\$ / TR (MAGALHÃES SOBRINHO, 1999)
- Sistema de Termoacumulação : 450 US\$ / TR (SILVEIRA, 1994)
- Caldeira de Recuperação (feita sob encomenda, devido sua capacidade): US\$150.0000 (SILVEIRA, 1994)
- Instalação do sistema : US\$ 20.000 (SILVEIRA, 1994)

Mediante os custos apresentados o total de investimento, estaria na ordem de US\$ 190.000. Considerando que o custo atual do metro cúbico de banho é da ordem de 3,62 US\$/h/m³ (estudo realizado anteriormente), temos:

Custo total do banho: 3,62 x 16 x 5 = 289,28 US\$/h

Então, se considerarmos que o custo do banho empregando o processo proposto se reduziria em 20% (pois só teríamos o custo do operador da caldeira), temos:

289,28 x 0,8 = 231,42 US\$/h

Com isso a economia seria de US\$ 57,66 / h.

O tempo de retorno do investimento, considerando somente para o banho seria:

190.000 / 57,66 = 3.294,95 h (aproximadamente 138 dias, considerando 24 h/dia de trabalho).

Como o custo do frio não é contabilizado, este tempo de retorno de investimento, deverá ser menor.

Opção B - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando a produção de valor para aquecimento do banho de decapagem de arame.

Esta opção é derivada da opção A, portanto os custos envolvidos considerados, serão os mesmos no estudo econômico (valor teóricos á nível internacional):

- Caldeira de Recuperação (feita sob encomenda, devido sua capacidade): US\$ 150.000 . (SILVEIRA, 1994)
- Instalação do sistema : US\$ 20.000 (SILVEIRA, 1994)

Mediante os custos apresentados o total de investimento, estaria na ordem de US\$ 170.000. Considerando que o custo atual do metro cúbico de banho é da ordem de 3,62 US\$/h/m³ (estudo realizado anteriormente), temos:

Custo total do banho: $3,62 \times 16 \times 5 = 289,28$ US\$/h

Então, se considerarmos que o custo do banho empregando o processo proposto se reduziria em 20% (pois só teríamos o custo do operador da caldeira), temos:

$289,28 \times 0,8 = 231,62$ US\$/h

Com isso a economia seria de US\$ 57,66 / h.

O tempo de retorno do investimento, considerando somente para o banho seria:

$170.000 / 57,66 = 2.948,32$ h (aproximadamente 123 dias , considerando 24h / dia de trabalho).

Opção C - Reaproveitamento dos gases de escape do Forno visando aquecimento do banho de decapagem de arame.

Nesta opção não é necessário a presença do operador da caldeira, com isso os custos operacionais, praticamente serão reduzidos a zero.

O custo de instalação do sistema de aquecimento do banho, agora empregando água aquecida, seria da ordem de US\$ 35.680,00, segundo informações de mercado. Assim sendo temos:

Custo total do banho: $3,62 \times 16 \times 5 = 289,20$ US\$/h

Tempo de retorno do investimento: $35.680,00 / 289,20 = 123,34$ h (aproximadamente 5,2 dias, considerando, considerando 24 h/ dia de trabalho)

8 CONCLUSÃO

Analisando-se as opções verifica-se que a Opção C é a que possui um menor investimento inicial e portanto torna-se a mais viável técnica e economicamente.

Entretanto, a Opção A a longo prazo nos traria maiores ganhos pois também forneceria o frio necessário para o processo de tratamento próximo.

A implantação da opção de melhor viabilidade aguarda a parada anual para manutenção para que seja implementada.

BIBLIOGRAFIA

- 1 FUPAI. Consumo de vapor na industria. Itajubá, 1986.
- 2 KAYS, W.M.; CRAWFORD, M.E. **Connective heat transfer and mass transfer**. 2. ed. New York: Mc Graw.Hill, 1980.

- 3 MAGALHÃES SOBRINHO, P. **Substituição de fonte de energia em processo de preparação de placas de alumínio para laminação**. 1999. 164p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 1999.
- 4 PETRECA, G. **Industrial energy manegement: principles and application**. Dordrecht: Kluwer, 1993.
- 5 SILVEIRA, J.L. **Cogeração dissiminada para pequenos usuários: estudo de casos para o setor terciário**. 1994. 252p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas, 1994.
- 6 SONNTAG, R.E.; VAN WYLEN, G.J. **Introduction to thermodynamics: classical and statistical**. New York: J. Wiley, 1991.

MINIMIZING RISKS IN SERVICES ASSOCIATED WITH OXYGEN-RICH FLUIDS IN THE PROCESS

Pedro Magalhães Sobrinho

Abstract

The mechanisms for initiation of the reaction for the oxygen with a material includes: mechanical impact, particles of foreign material at velocities that ignite by impact or rubbing on a container or pipe wall. In some cases a kindling chain of events occurs, in which a relatively easily ignited material (e.g., hydrocarbon) ignites, and the heat release, in turn, ignites a metal material.

Key-words: Oxigen, Safety.