

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM RAMAS DE INDÚSTRIA TEXTIL¹

Antônio Rogério Machado²
André Ferraz³
Ivan Rocha⁴
Jorge Azevedo²
Hugo K. Oshiro⁶
Ricardo Konishi⁷
Walter Piazza⁸
William Lehmkuhl⁹

Resumo

O uso do gás natural no setor têxtil possibilita uma transferência de calor direta nos processos de secagem, em substituição ao aquecimento indireto, realizado por sistemas de fluidos térmicos comumente utilizados. Tal medida pode reduzir significativamente os custos energéticos e confere ao processo produtivo maior eficiência. Apresentamos um estudo de caso onde foram identificadas oportunidades de melhorias do uso de energia térmica em equipamentos denominados ramas, cuja finalidade é remover a umidade presente durante as etapas finais da fabricação de tecidos. As atividades executivas desta iniciativa foram realizadas pela Fundação Universidade Regional de Blumenau, em uma empresa bastante representativa do setor têxtil, cliente da Companhia de Gás de Santa Catarina. O levantamento de dados em campo permitiu o fechamento dos balanços de massa e energia das diferentes ramas avaliadas, o que constituiu a base para a análise operacional destes equipamentos, bem como para a elaboração das melhorias propostas. Os dados revelam que, no sistema de aquecimento indireto, 28% da energia térmica produzida poderia ser reaproveitada, visto que a temperatura dos gases de exaustão alcança 360°C. As ramas de aquecimento indireto apresentaram eficiência energética entre 24% e 27%, enquanto as de aquecimento direto entre 27,4% e 34,8%. A instalação de um sistema automatizado para controle das vazões de gás natural e ar comburente gera um aumento expressivo na eficiência energética, bem como a redução em até oito vezes na emissão de monóxido de carbono.

Palavras Chave: Eficiência energética; Ramas; Indústria têxtil.

ANALYSIS OF ENERGETIC EFFICIENCY IN STENTERS OF TEXTILE INDUSTRY

Abstract

This paper presents the research on the use of alternative energy within the textile industry: a strategy aimed at reducing costs and securing market share. The use of natural gas allows for the direct heating and drying of textiles through convection, instead of the conventional indirect heating method of thermal fluids. This measure alone reduces significantly the energy costs and grants the process superior efficiency and sustainability. This case examines the improvements to the process of drying textiles through thermal equipment called stenters, whose purpose is to remove humidity from the cloth during its fabrication. As such, SCGÁS, in association with FURB, has performed an operational and technological evaluation of the drying process used by a customer enterprise. The data collected enabled the researchers to map all sources (inputs and outputs) of mass and energy for each different stenter. This composed the basis for the analysis done and the subsequent proposal of improvements, which varied from the conversion of stenter from indirect to direct heating and the development of even more energy efficient solutions for the direct heating system. The data obtained shows that, for the indirect heating system, 28% of the thermal energy produced could be recovered, given the temperature of the exhaust gases reached 360°C. The indirect heating stenters presented energy efficiency between 24% and 27%, while the direct heating ones presented between 27,4% and 34,8%. Additionally, if an automated control system for the natural gas and oxidizing air flows was to be installed, it would guarantee greater quality combustion with a significant increase in energy efficiency, as well as a decrease in carbon monoxide emissions by a factor of eight.

Key words: Energy efficiency; Stenters; Textile industry.

¹ Contribuição técnica ao 32º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 26º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 16 a 19 de agosto de 2011, Salvador, BA

² Msc. Eng.º Químico – SCGÁS

³ Eng.º Civil – SCGÁS

⁴ Esp. Eng.º Eletricista – SCGÁS

⁵ Grad. Eng.º Mecânico – SCGÁS

⁶ Esp. Eng.º de Produção Química – SCGÁS

⁷ Msc. Eng.º Civil – Petrobras/SCGÁS

⁸ Msc. Eng.º Mecânico – SCGÁS

1 INTRODUÇÃO

A competitividade econômica global exige que as empresas do mundo todo invistam constantemente em inovações e avanços tecnológicos para assegurar e consolidar uma boa situação no mercado. Investir no controle de processos e diversificar a matriz energética em uso são estratégias fundamentais para alcançar tais objetivos além de garantir a qualidade dos produtos ofertados. Dentro desse contexto, o gás natural compõe uma interessante opção energética, permitindo, na indústria têxtil, a implantação do aquecimento direto principalmente por convecção e radiação nos sistemas de secagem em substituição ao aquecimento indireto, promovido por sistemas de fluidos térmicos. Estes são operados tradicionalmente a partir da queima de biomassa, considerada uma fonte de energia de custo reduzido. Assim, o uso adequado de gás natural possibilita a redução de custos energéticos e confere maior eficiência ao processo produtivo. A SCGÁS, em parceria com a Fundação Universidade Regional de Blumenau – FURB desenvolveu um estudo de eficiência energética em uma empresa bastante representativa do setor têxtil, comparando o desempenho de ramas com aquecimento direto a gás natural e ramas com aquecimento indireto promovido por sistemas de fluidos térmicos. Nas análises efetuadas os balanços de massa e energia revelaram-se fundamentais visto que constituem uma ferramenta apropriada para a determinação de eficiência dos processos térmicos, como o de secagem. Essa abordagem possibilita a proposição melhorias aos sistemas existentes e sugestão de substituições em caso de equipamentos não competitivos e/ou obsoletos. Uma descrição mais detalhada de todo o estudo efetuado é encontrada no trabalho realizado por Barros, Meier e Wiggers⁽¹⁾ em parceria com a SCGÁS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instrumentos Utilizados

A obtenção dos dados do processo foi realizada diretamente junto aos equipamentos em funcionamento. Para tanto, utilizou-se uma bancada móvel contendo termopares tipo K (0°C a 1.200°C) e PT-100 (0°C a 400°C), células de carga e um tubo de Pitot para a medição dos parâmetros temperatura, pressão e velocidade dos gases. Além dos equipamentos supracitados presentes na bancada, outros dispositivos foram necessários para a obtenção de todos os dados necessários ao fechamento dos balanços de energia e massa, dentre esses destacam-se: câmara térmica, anemômetro de fio quente e analisador de gases de combustão.

2.2 Medidas Térmicas

2.2.1 Medidas térmicas do ar falso e do ar carburante

As medidas da temperatura do ar falso e ar carburante foram realizadas utilizando-se o anemômetro digital de fio quente, com prévia seleção do parâmetro de medida. Em seguida, a sonda do anemômetro foi aproximado a 2 cm da área de entrada do ar no queimador no centro da superfície, e mantido naquela posição até a estabilização da temperatura. Registrou-se a temperatura medida em cada queimador instalado na rama. Terminada a seqüência de medidas em todos os

queimadores, este procedimento foi repetido por três vezes em todas as ramas de aquecimento direto e nos tanques de aquecimento de óleo térmico.

2.2.2 Medidas térmicas dos gases de combustão

As medidas de temperatura dos gases de exaustão das ramas e dos aquecedores de óleo térmico foram feitas utilizando-se o termopar modelo PT100, instrumento presente na bancada móvel. O procedimento consistiu na retirada da tampa presente no bucin adaptado ao duto do escoamento onde o instrumento de medida é inserido no duto do escoamento até a posição intermediária. Em seguida é aguardada a estabilização da temperatura quando os dados são registrados em arquivo eletrônico específico.

2.2.3 Medidas térmicas na superfície de dutos de escoamento de óleo térmico

Para a aquisição dos dados de processo, foram identificados pontos sobre as superfícies de dutos de entrada e saída de óleo térmico sem qualquer isolamento e coletados os dados térmicos utilizando-se a câmera térmica. Para isto ligou-se a câmera térmica e incidiu-se sobre a superfície um feixe de luz infravermelho e observado o campo térmico com a respectiva escala. Para o ponto central do quadrante incidente do feixe de luz o visor indica a temperatura local.

2.2.4 Medidas térmicas no interior das ramas

As medidas térmicas no interior das ramas foram feitas utilizando-se a câmera térmica e objetivaram conhecer as temperaturas reais da rama e compará-las com aquelas presentes no painel de controle de operação das ramas. Para isto, foram abertas, momentaneamente, as seções laterais de cada rama e, utilizando-se a câmera térmica, procede-se a medida da temperatura, tanto no ambiente interno como nas superfícies sólidas presentes naquele equipamento industrial.

2.3 Medidas de Vazão de Gases

2.3.1 Medidas da vazão dos gases de exaustão

Os gases de exaustão das ramas e dos aquecedores de óleo térmico são gases de combustão misturados ao ar falso e ao ar de recirculação que na sua combinação proporcionam as temperaturas adequadas para a operação de secagem/aquecimento destes equipamentos industriais. As medidas destes parâmetros visam o fechamento dos balanços de massa e de energia, essenciais para a avaliação do desempenho do processo quanto à eficiência energética, tendo como ferramenta o tubo de PITOT que mede a diferença de pressão usada para determinar a velocidade dos gases.

2.3.2 Medida da vazão do gás natural

Com objetivo de determinar o consumo do gás em todos os equipamentos instalados na empresa, foi feito o acompanhamento do consumo horário de GN nos registros gerais dos tanques de aquecimento do óleo térmico e das ramas 5 e 6. A determinação do consumo na Rama 7 foi feita fazendo-se a diferença entre a vazão geral e a vazão das ramas 5 e 6, respectivamente, além da chamuscadeira, equipamento com baixa capacidade de consumo de gás.

2.4 Procedimentos Numéricos: Balanços de Massa e de Energia

A modelagem macroscópica é baseada nos princípios da conservação tanto para massa total quanto para a energia térmica total do sistema. Adota-se a hipótese do contínuo e os processos são assumidos em regime permanente. Para esta abordagem, as propriedades internas do sistema são mantidas constantes tanto no espaço como no tempo, fatores preponderantes para a descrição do modelo matemático do processo.

3 RESULTADOS

3.1 Balanço de Massa e Energia

Para os tanques de aquecimento de óleo térmico, foi adotado um modelo simplificado o qual considerou um único tanque equivalente ao invés de dois individuais, com um único duto equivalente de saída dos gases de combustão. O fluxograma da Figura 1 ilustra o modelo descrito. A Equação 1 consiste na combinação dos balanços de massa e energia para os tanques de aquecimento, conforme os métodos apresentados em Incropera e Dewitt⁽²⁾ assim como em Smith e Van Ness.⁽³⁾

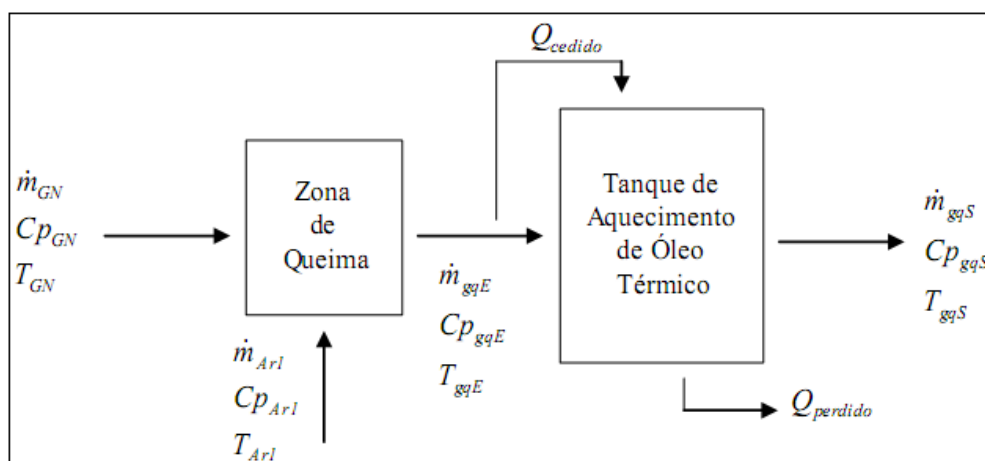


Figura 1. Fluxograma das correntes envolvidas nos aquecedores de óleo térmico.

Equação 1:

$$m_{GN}(Cp_{GN}.T_{GN} - Cp_{gqS}.T_{gqS}) + m_{ArI}.(Cp_{ArI}.T_{ArI} - Cp_{gqS}.T_{gqS}) = Q_{cedido} + Q_{perdido}$$

Onde m é a vazão mássica (kg/s), aqui referente aos índices GN (gás natural a ser queimado) e ArI (total de ar de queima). A variável C_p é o calor específico (J/kg.°C), onde o índice gqE significa gases de queima de entrada e gqS , gases de queima de saída. O Q_{cedido} constitui a quantidade de calor (J) transmitida dos gases de queima de entrada para o fluido térmico no interior do tanque, e T é a temperatura (°C).

Os balanços de energia e massa efetuados nas ramas de aquecimento computam também as condições de entrada e saída do tecido a ser secado. Assim, na Figura 2 e na Equação 2, tem-se respectivamente o fluxograma e equação de balanço de energia e massa para ramas de aquecimento.

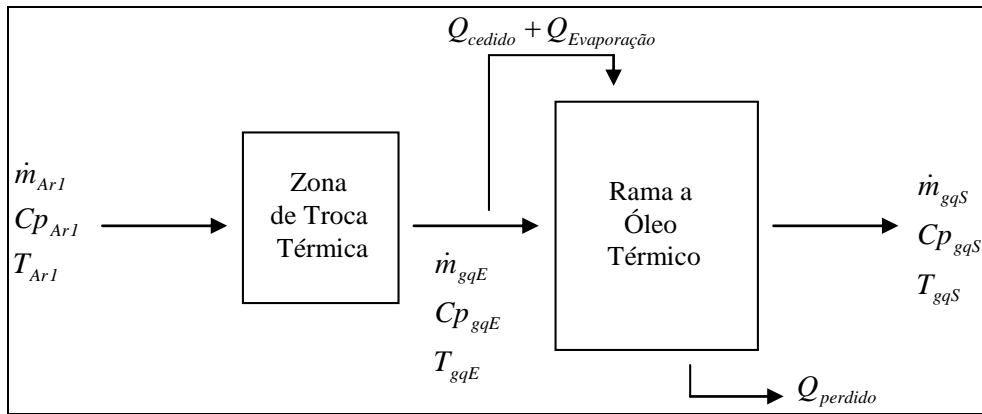


Figura 2. Fluxograma das correntes envolvidas nas ramas de aquecimento indireto.

Equação 2:

$$m_{Ar1} \cdot (Cp_{gqE} \cdot T_{gqE} - Cp_{gqS} \cdot T_{gqS}) = Q_{cedido} + Q_{evaporação} + Q_{perdido}$$

No balanço de ambas as ramas de aquecimento direto e indireto, o índice gqE indica os gases quentes que entram nas ramas, enquanto o gqS indica os gases secos à saída das mesmas. A soma do Q_{cedido} e do $Q_{evaporação}$ equivale à energia necessária para o aquecimento do tecido e para a evaporação da água contida no mesmo. Analogamente, na Figura 3 e na Equação 3 são expostos o fluxograma e o balanço de energia e massa referentes às ramas de aquecimento direto.

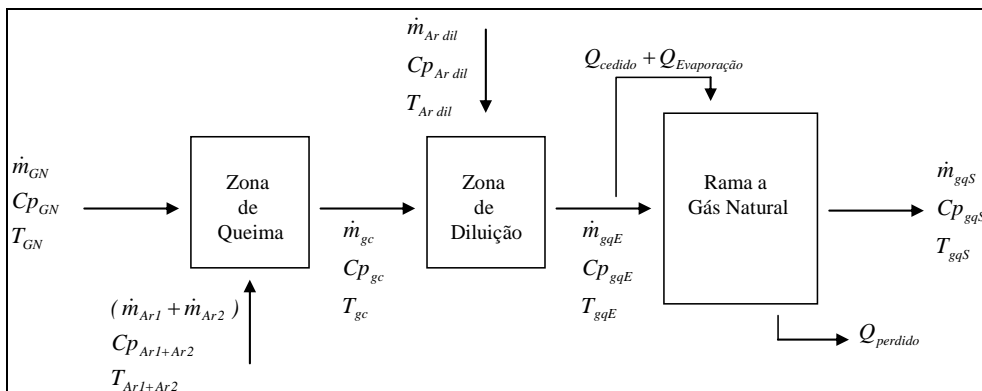


Figura 0. Fluxograma das correntes envolvidas nas ramas de aquecimento direto.

Equação 3:

$$m_{GN} \cdot (Cp_{GN} \cdot T_{GN} - Cp_{gqS} \cdot T_{gqS}) + (m_{Ar1} + m_{Ar2}) \cdot (Cp_{Ar1} \cdot T_{Ar1} - Cp_{gqS} \cdot T_{gqS}) + m_{ArDiluição} \cdot (Cp_{ArDiluição} \cdot T_{ArDiluição} - Cp_{gqS} \cdot T_{gqS}) = Q_{cedido} + Q_{evaporação} + Q_{perdido}$$

Especificamente no balanço das ramas de aquecimento direto, a soma $(m_{Ar1} + m_{Ar2})$ indica a vazão de entrada do ar nos queimadores. O índice gc significa gases de combustão, e a sua união ao ar de diluição resulta nos gases que entrarão de fato na rama (gqE) para o processo de secagem.

3.2 Análise do Desempenho de Ramas

O conhecimento dos fatores integrantes do custo dos produtos, bem como suas respectivas representatividades percentuais, revela-se estratégia valiosa para a definição de quais medidas merecem prioridade de implementação. Dessa forma, foi



analisado o consumo de gás natural pelos equipamentos da empresa, com enfoque na identificação do percentual relativo ao consumo total de cada equipamento. Isso permitiu identificar quais equipamentos merecem maior urgência para a implantação de melhorias. Desta forma foi verificado que, da vazão total de gás natural medida, 7% atendem à demanda da rama 5; 14,9% atende a rama 6; 19,2% atende a rama 7; e 53,4% destina-se ao aquecimento do óleo térmico. O óleo atende as ramas 3, 4 e 8 (de aquecimento indireto), além das duas calandras e uma polimerizadeira. Conseqüentemente, 41,1% do gás correspondem às ramas de aquecimento direto, portanto qualquer avanço percentual na eficiência dessas ramas possui considerável impacto em termos absolutos. A indeterminação global na medição de vazão de gás natural é de 5,5%.

Foram confeccionados modelos esquemáticos para facilitar a análise geral de cada processo, bem como a visualização de todas as entradas e saídas de energia e massa. As Figuras 4, 5 e 6 ilustram, como se dão os fluxos de fluidos e de energia dos tanques de aquecimento, ramas de aquecimento indireto a óleo térmico e ramas de aquecimento direto, respectivamente. As propriedades dos gases apresentadas bem como as quantidades de energias com estão em conformidade com Reid, Prausnitz e Poling⁽⁴⁾ e Perry e Green.⁽⁵⁾

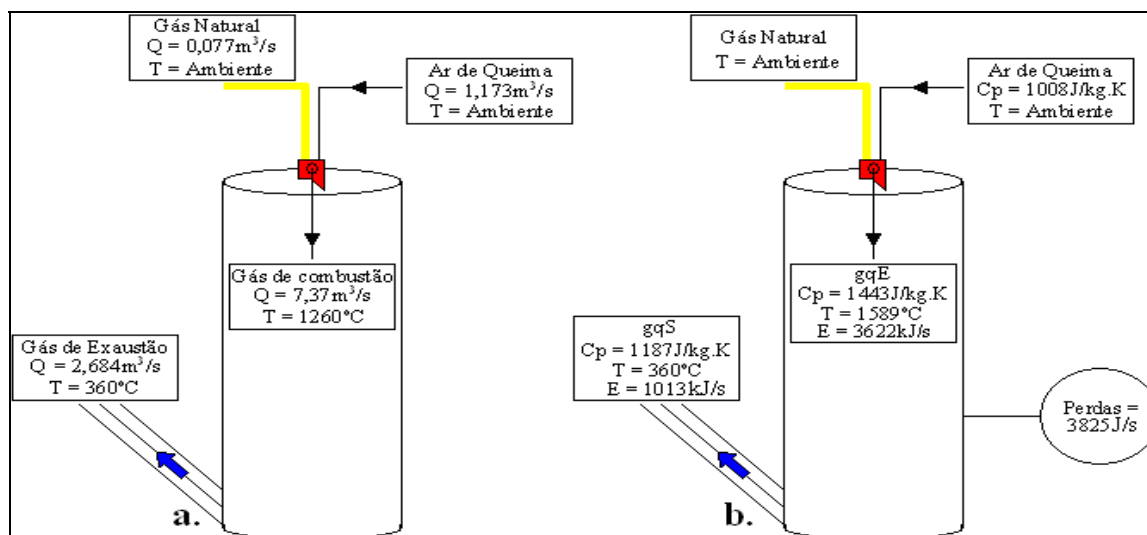


Figura 3. (a) Vazões volumétricas e (b) parâmetros térmicos para os tanques de aquecimento.

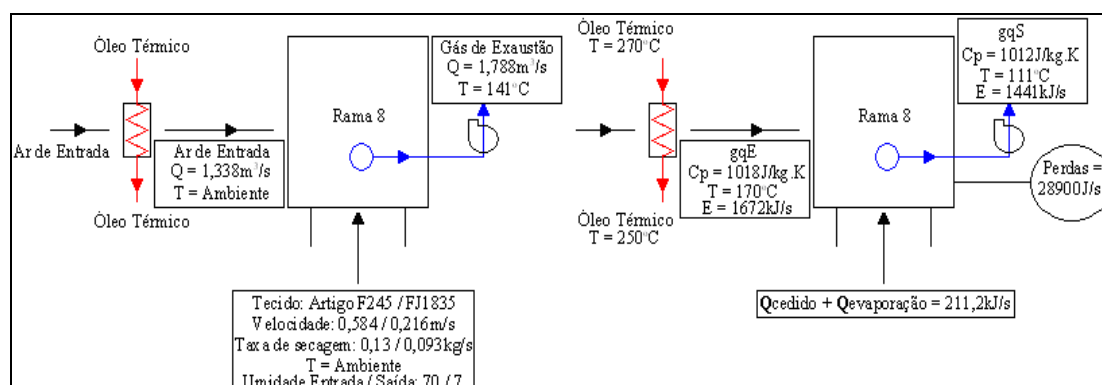


Figura 4. Vazões volumétricas e parâmetros térmicos para ramas de aquecimento indireto com óleo térmico.

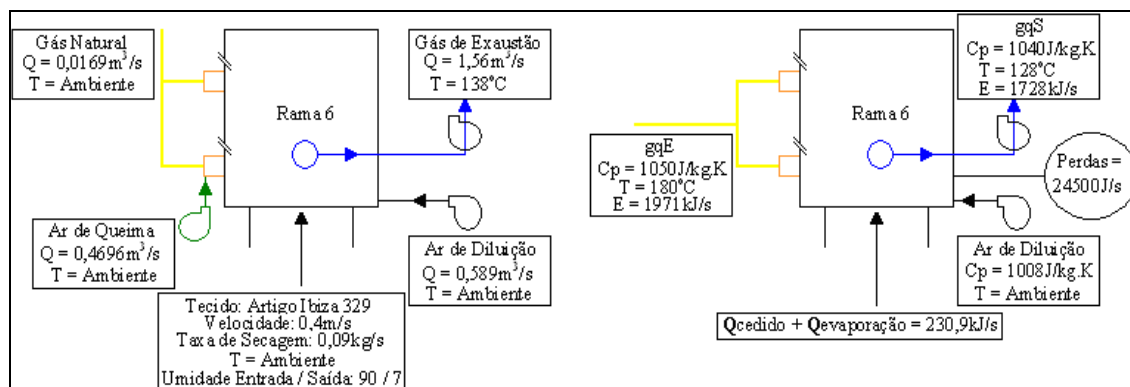


Figura 5. Vazões volumétricas e parâmetros térmicos para ramas de aquecimento direto.

3.3 Proposta de Melhorias

A observação dos resultados dos balanços gerais para ambos os tipos de ramas (Tabela 1 e Tabela 2) confirma o desempenho superior das ramas de aquecimento direto. Propõe-se, pois, a conversão das ramas 3, 4 e 8 para aquecimento direto, bem como a substituição progressiva dos equipamentos de menor eficiência e/ou obsoletos. É importante atentar ainda para a presença de um sistema de controle automático de vazão de gás natural e ar comburente na rama de maior eficiência, indicando uma tendência a ser seguida na melhoria desse tipo de equipamento. Também com base nas tabelas abaixo, identifica-se a possibilidade de instalação de um queimador central de gás natural, que forneceria os gases de combustão para o aquecimento direto em todas as ramas da unidade fabril.

Tabela 1. Balanço geral das ramas de aquecimento indireto

Parâmetro	Rama		
	3	4	8
Artigo têxtil processado	FJ-1881	FJ-1835/1	FJ-1835/1
Temperatura de saída dos gases de exaustão (°C)	116	111	111
Vazão de massa de água retirada por evaporação (kg/s)	0,087	0,098	0,077
Energia requerida no processo de secagem (kJ/s)	238,9	211,2	211,2
Eficiência do processo (%)	27,0	24,0	24,0

Tabela 2. Balanço geral das ramas de aquecimento direto

Parâmetro	Ramas		
	5	6	7
Artigo têxtil processado	MQF 131	IBIZA 319	FJ-1835
Consumo de gás natural (m³/s)	0,018	0,017	0,027
Vazão de ar diluição (kg/s)	4,357	3,730	6,090
Temperatura de saída dos gases de exaustão (°C)	124	128	115
Vazão da massa de água retirada por evaporação (kg/s)	0,084	0,085	0,107
Energia requerida no processo de secagem (kJ/s)	232,0	230,9	294,3
Eficiência do processo (%)	31,9	34,8	27,4

Nota-se também uma diferença nos valores de eficiência do processo das ramas 5 e 7 em relação à rama 6. Tal discrepância provém da ausência, nas ramas 5 e 7, de reguladores automáticos para as vazões de gás natural e ar comburente. A implantação de um sistema de controle de vazão nas ramas 5 e 7, bem como o

melhoramento do sistema já existente na rama 6, asseguraria maior eficiência energética, maior qualidade da combustão e menor consumo de gás natural, além da menor emissão de monóxido de carbono resultante de uma combustão incompleta (Tabela 3). A temperatura de exaustão dos gases de combustão do tanque de aquecimento de óleo térmico atinge 360°C, o que representa um potencial de recuperação de energia de 28%.

Tabela 0. Características dos gases de combustão

Parâmetro	Ramas e tanques			
	5	6	7	Tanques
Teor de CO (ppm)	41,7	13,0	61,5	98,5
Teor de CO ₂ (%)	0,92	0,8	1,125	8,425
Teor de O ₂ (%)	19,22	19,5	18,95	6,35
Pressão (bar)	0,375	0,800	0,142	0,615
Temperatura (°C)	118	139	132	360

4 DISCUSSÃO

Conforme comentado, as ramas de aquecimento indireto baseiam-se na utilização de um fluido térmico para transporte de calor. De acordo com Carbon Trust,⁽⁶⁾ neste sistema um líquido é aquecido à temperatura de trabalho, bombeado através de linhas de transmissão onde o calor é então transferido do fluido quente para câmaras de radiadores. Durante este trajeto ocorrem substanciais perdas de calor que ocasionam uma diminuição na eficiência global do processo. Para reduzir essas perdas, os sistemas de aquecimento de fluido térmico podem ser substituídos por gás em equipamentos de queima direta. Neste sistema, o ar é diretamente aquecido por queimadores a gás e a temperatura exigida é obtida através da circulação de ar quente através de câmaras de trocas térmicas.

No presente trabalho verificou-se que a média de eficiência energética nas ramas de aquecimento indireto ficou em torno de 25% ao passo que a eficiência energética para as ramas de aquecimento direto atingiram a média de 32%. Hasanbeigi⁽⁷⁾ comenta que uma fábrica têxtil na Índia converteu seu sistema de fluido térmico para um sistema de queima direta de gás. Neste processo foi obtida uma economia de cerca de 40% do uso total de combustíveis os quais corresponderam a 11.000 GJ/ano. Quanto à economia de energia elétrica, verificou-se que houve uma redução de cerca de 90% do consumo total, obtendo uma economia de 120 MWh/ano. O custo do investimento desta medida foi de cerca de US\$ 50.000 com um período de retorno de um ano.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos através do estudo efetuado no presente trabalho, é perceptível a superioridade de desempenho das ramas de aquecimento direto nos processos de secagem de tecido. Os benefícios de seu emprego abrangem desde maiores eficiências energéticas até menores emissões de monóxido de carbono. Adicionalmente, as ramas de aquecimento direto podem ter seu desempenho melhorado através da implantação e/ou melhoria de sistemas de controle de vazão a gás natural e ar comburente. Por fim, para o aproveitamento máximo da energia de combustão gerada no processo, há a possibilidade de reaproveitamento das perdas térmicas relacionadas às correntes de exaustão. Essa

integração energética pode suprir outras necessidades térmicas da indústria, como aquecimento de água, através de uma disposição adequada dos dutos de exaustão. A implantação das soluções apresentadas neste estudo confere vantagem competitiva às indústrias do setor têxtil. O uso adequado do gás natural agrega um diferencial valioso que contribui para um posicionamento sólido de empresas no mercado.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a universidade Fundação Universidade de Blumenau – FURB pela parceria no projeto realizado e à empresa do setor têxtil que permitiu a análise de seu processo produtivo e coleta de dados para a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 BARROS A. A. C., MEIER H. F., WIGGERS V. R.; **Relatório Técnico Final - Desenvolvimento de Metodologia para Análise de Eficiência Energética na Indústria Têxtil: O Caso Karsten**. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2009.
- 2 INCROPERA, F. P., DEWITT D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, xix, 643 p, 2008.
- 3 SMITH, J. M., VAN NESS, H. C. **Introdução a termodinâmica da engenharia química**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 593p, 1980.
- 4 REID, R. C., PRAUSNITZ, J. M., POLING, B. E. **The properties of gases and liquids**. 4ª ed. New York: McGraw-Hill Book, 1988.
- 5 PERRY, R. H., GREEN, D. W. **Perry's Chemical engineers handbook**. 6ª ed. New York: McGraw-Hill, 1984.
- 6 CARBON TRUST. **Cutting your energy costs-A guide for the textile dyeing and finishing industry**. Disponível em :< <http://www.carbontrust.co.uk/Publications/pages/publicationdetail.aspx?id=GPG168>>. Acesso em: mar. 2011.
- 7 HASANBEIGI, Ali. **Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry**. Disponível em:< www.e-techinc.com/downloads/PDF_LBNL-Textile%20industry.pdf>. Acesso em: mar. 2011.