

Estudo de Alternativas de Cogeração Aplicado a Secagem de Argila para Fabricação de Revestimentos Cerâmicos por Via Seca

Laiete Soto Messias^{a*}, José Francisco Marciano Motta^b, Hudson Barreto Brito^c

^aFIGENER Engenheiros Associados S.A.

^bInstituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT

^cCia. Paulista de Gás – COMGAS

*e-mail: laiete@figener.com.br

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados obtidos no estudo cujo objetivo foi o de investigar as possibilidades e alternativas do uso de gás natural para a secagem forçada de argila que é utilizada no processo produtivo de revestimentos cerâmicos. A metodologia do trabalho foi a de estudo de caso utilizando amostras de argilas e informações do processo produtivo de indústrias do setor de revestimentos cerâmicos instaladas no Pólo Cerâmico da região próxima do município de Santa Gertrudes, no interior do Estado de São Paulo. A partir dos resultados obtidos em laboratório com amostras das argilas coletadas na região, estabeleceram-se os limites de temperatura de secagem, e proposto um tipo de secador mais adequado à natureza e características da argila da região.

Para a geração de gases quentes de secagem, foram analisadas três configurações possíveis: uma denominada de convencional, que se constitui apenas do gerador de gases quentes e duas configurações alternativas que contemplam a cogeração de energia elétrica: com motogeradores e com turbogeradores, em todos os casos utilizando o gás natural como combustível. Para cada uma das alternativas, foi considerado o volume de investimento necessário, os custos operacionais e calculadas as respectivas taxas de retorno esperadas, considerando uma instalação típica de secagem artificial.

Os resultados obtidos indicam que a alternativa de cogeração com grupos motogeradores é técnica e economicamente mais atrativa, inclusive sob o aspecto da geração distribuída de energia elétrica como forma de aumento da eficiência do uso do gás natural para a geração termoelétrica.

Palavras-chave: gás natural, secagem de argila, cogeração, revestimentos cerâmicos.

1. Introdução

Mais de 80% da capacidade instalada do país em energia elétrica é gerada em hidroelétricas. Nos últimos anos, o processo de aumento da capacidade de geração de energia elétrica começou com a introdução de leilões de energia proveniente de outras fontes, sobretudo as renováveis, para ser entregue em três ou cinco anos, não excluindo novos projetos de geração hidrelétrica.

As tecnologias de cogeração de energia (CHP) - produção concomitante de eletricidade e calor - constituem uma das maneiras mais simples de utilizar eficientemente um combustível primário, e também, reduzir as emissões específicas de CO₂.

Considerando-se ainda, que o transporte de energia a longas distâncias é responsável por grandes perdas, além de ser dispendioso e complexo, a cogeração é geralmente uma solução de geração distribuída de energia bastante atrativa. As plantas de cogeração de tamanho moderado e eventualmente distribuídas sobre uma grande área, podem também ser operadas como fornecedores de energia para suprimento de picos de demanda, contribuindo para a estabilização das redes de distribuição com redução das perdas.

Segundo Berg e Nogueira (1996)¹, a viabilidade da cogeração no Brasil apresenta variações que, dependendo de legislação específica reguladora e dos custos relativos dos energéticos, impõe algumas dificuldades para a sua expansão desejável.

No passado recente houve algumas dificuldades para garantir o fornecimento de gás natural, mas esta situação está mudando rapidamente, com a implementação de mecanismos para garantir a segurança de abastecimento de gás natural para as indústrias, além do que, deve-se considerar como muito promissoras as descobertas de novas bacias de gás natural, sobretudo no litoral paulista, o que

poderá resultar em maior oferta e assegurar fornecimento mais firme deste insumo energético nos próximos anos.

Atualmente há poucos casos de aplicação de esquemas de cogeração no país, em contraste com o que ocorre em outros países. No setor de cerâmica, a exemplo do que ocorre em outros setores industriais, ainda são raras as instalações de cogeração. Um caso de conhecido sucesso é o instalado na Indústria Pamesa com uma turbina de 4.500 KWe ISO. Esta unidade industrial está localizada na Região Nordeste na cidade de Cabo de Santo Agostinho, na região metropolitana Recife. É uma aplicação convencional de cogeração em secador atomizador para preparação de pó para fabricação de pisos cerâmicos em processo convencional por via úmida, onde parte da energia elétrica produzida é exportada para a rede da concessionária local.

As indústrias cerâmicas no Brasil, não obstante a crise econômica internacional 2008-2009 produziram 713 milhões m² de piso cerâmico em 2008, colocando o país no segundo lugar em volume de produção no mundo. As expectativas de crescimento futuro indicam taxas médias de crescimento de 5% ao ano, sobretudo devido à expansão da demanda doméstica.

O chamado Pólo de Santa Gertrudes, que está localizado no Estado de São Paulo (Figura 1), produz mais de 300 milhões m² de pisos e revestimentos por ano, com cerca de 40 unidades fabris na região, utilizam predominantemente processos de fabricação por via seca.

Nos processos de produção por via seca, ao contrário dos convencionais por via úmida, a moagem das matérias primas é feita com umidades reduzidas. O corpo da cerâmica tem uma cor

avermelhada, absorção de água entre 6 e 10% e a superfície é vidrada. A produção através do processo de via seca é facilitada pelo uso de um único tipo de argila utilizado para compor o corpo. Os materiais são provenientes de rochas argilosas da bacia do Paraná, que constitui uma enorme bacia sedimentar intracratônica Fanerozóica que abrange 1.100 mil km² no Sul do Brasil, e 100 mil km² no Uruguai, Paraguai e Argentina.

A mineração é conduzida por métodos tradicionais a céu aberto, envolvendo as etapas de retirada da cobertura vegetal (campo de cana-de-açúcar), seguido por desmonte mecânico (escarificação) e/ou por explosivos, utilizando-se bancada única ou bancadas múltiplas. O minério, sob a forma de blocos de tamanhos variados, é carregado em caminhões e transportado para pátios abertos, passando por britadores primários/destorroadores ou, ocasionalmente, por pilhas de descanso. No pátio, para atingir-se as condições desejadas de secagem, redução granulométrica e homogeneização, a argila é movimentada por tratores movidos a óleo diesel, com diversos implementos agrícolas ou de terraplenagem, adaptados.

Esse processo de pátio utiliza a luz solar para a secagem, mas gera muito pó, gerando carregamento pelo vento nos períodos de seca e pela enxurrada nos períodos úmidos (chuvas), que podem comprometer a qualidade do ar e da água. Nesse último caso, pode comprometer o abastecimento público por excesso de material em suspensão nas estações de tratamento de água (ETA's). Para reduzir esses comprometimentos, a agência ambiental local tem colocado algumas restrições para este método de secagem. Procurando alternativas técnicas e ambientais, o estudo realizado e apresentado aqui trata de analisar sistemas de cogeração para a secagem de argila em ambiente fechado. Esta aplicação de cogeração não é usual, e o estudo tem caráter conceitual, com objetivo de avaliar previamente as rotas possíveis para a solução dos problemas apontados.

O objetivo geral do estudo foi de propor alternativas de sistema de secagem que minimize o impacto ambiental na região do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, com os seguintes objetivos específicos:

- Conhecer e estabelecer os limites técnicos da secagem, para que as argilas apresentem, no processo cerâmico, desempenho similar ou superior aos da argila seca ao sol; e,
- Estudar as alternativas de sistema térmico mais adequado e que busque viabilizar economicamente a secagem forçada da argila conjugando a geração de energia elétrica/mecânica e energia térmica por meio de um sistema de cogeração.

2. A Situação Atual

O fluxograma simplificado de processo da Figura 2 mostra a secagem da argila tal como é feita atualmente na maioria das indústrias do pólo de Santa Gertrudes. Na situação atual, apesar do uso do sol como principal fonte de energia, tem consumos elevados de óleo diesel para o transporte e manuseio da argila em terraços abertos. As intensas circulações de matéria-prima nas operações implicam em altos custos, gerando os impactos ambientais apontados (poluição do ar e da água nas proximidades dos locais de operação).

3. As Alternativas de Secagem Forçada (Artificial)

Tentando introduzir a secagem forçada da argila algumas indústrias adotaram o sistema de secagem convencional. Em dois casos analisados, foram utilizados secadores do tipo cilindro rotativos, em que o agente de secagem é introduzido em temperatura na faixa de 300 e 400 °C. Em ambos os casos, observou-se alterações nas propriedades da argila, obrigando os produtores a estabelecer o limite de 50% de argila seca artificialmente na composição da argila total.

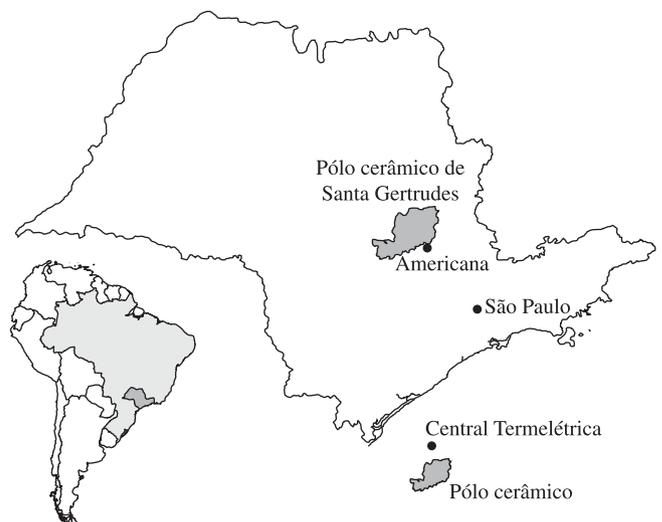


Figura 1. Localização geográfica do pólo cerâmico de Santa Gertrudes.

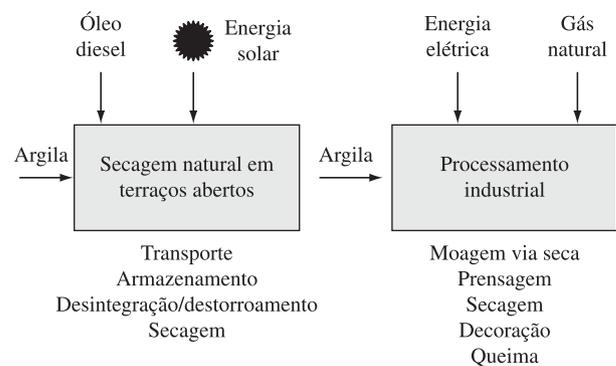


Figura 2. Fluxograma simplificado do processo produtivo atual.

Durante a realização do estudo aqui apresentado, foi executada uma série de testes em laboratório para investigar o comportamento de amostras de argila da região em diferentes temperaturas de secagem. O objetivo dos testes foi definir a temperatura máxima do ar de secagem, sem perdas significativas de plasticidade. O gráfico da Figura 3 mostra que há uma diminuição da resistência da massa cerâmica quando esta é seca nas temperaturas mais elevadas, os resultados apresentados foram obtidos com duas amostras de argilas coletadas na região de Santa Gertrudes.

O módulo de ruptura à flexão foi um dos parâmetros considerados como mais importante no estudo para avaliar a temperatura adequada do agente de secagem. Foi estabelecido então que a temperatura deve ser inferior a 250 °C para a preservação das características peculiares de argila seca para a etapa de prensagem. Levando em conta estes resultados, o processo de secagem deve ser em baixa temperatura e de curto tempo de residência, em que a aplicação do secador do tipo câmara “rápida” (Figura 4) tem vantagens sobre os secadores tipo cilindro rotativo convencionais.

Neste estudo, em todas as situações analisadas, foram consideradas duas unidades de secagem montadas em paralelo, suficientes para atender a capacidade de processamento da instalação, admitindo-se como valor típico das indústrias da região uma produção de 1,65 milhões m² de piso por mês.

Para o estudo de caso típico, os seguintes parâmetros foram considerados para especificar a capacidade de processamento para a unidade de pré-secagem: 59 m² de piso/t de argila, 550.000 m²/mês; produção de argila seca: 31,25 t/h (capacidade nominal da unidade de secagem de argila adotada: 40 t/h).

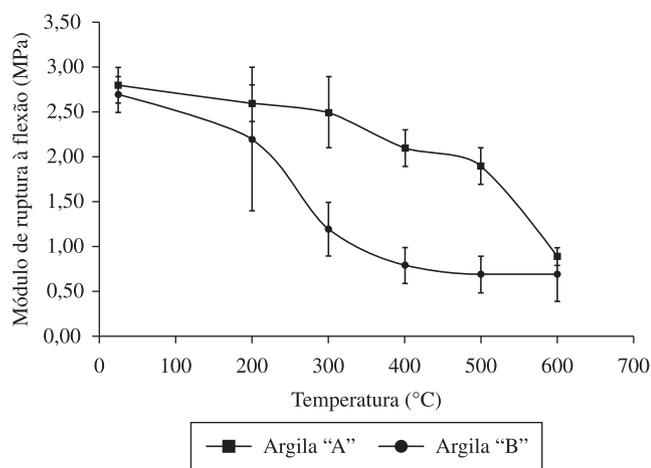


Figura 3. Resistência da argila em função da temperatura do ar de secagem de argilas diferentes.

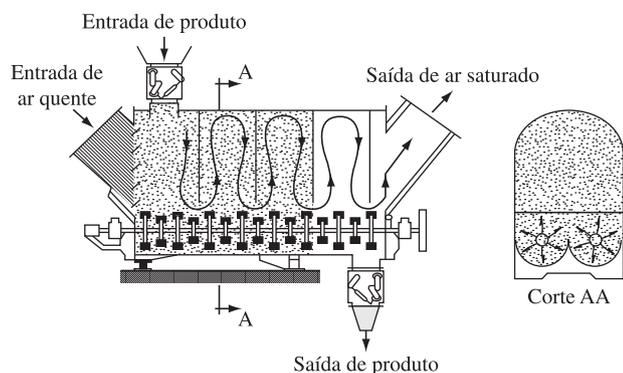


Figura 4. Secador do tipo câmara rápida ("Rapid Dryer").

Embora existam diferenças entre as argilas na região, os seguintes valores foram adotados para os cálculos: teor de água da argila natural: 15%; umidade da argila seca: 5%, o que resultaria 4000 kg/h de vazão de água evaporada.

Assumindo o valor de 81% para a eficiência termodinâmica de secagem e consumo específico de energia: 1000-1200 Kcal.kg⁻¹ de água evaporada, como típico para os secadores e 250 °C como temperatura máxima para o ar (gases) de secagem, resulta valores de capacidade térmica máxima de 4,8 Gcal/h (5,58 MW) e vazão de gases de secagem de 63.000 kg/h.

4. Configuração Convencional de Secagem com Gerador de Gases Quentes

Como referência para comparação, foi considerado um arranjo de secagem convencional composto por um gerador de gases quentes (câmara de combustão) para produzir o volume de gases quentes necessário mediante a queima direta de gás natural, conforme ilustrado na Figura 5. Neste caso, a capacidade nominal do gerador de gases quentes é de 7,63 MW.

5. Configurações Alternativas de Secagem com Cogeração

Numa situação futura, nas configurações de secagem com cogeração, como mostra o fluxograma simplificado do processo de fabricação da Figura 6, as unidades foram dimensionadas, sobretudo para suprir a demanda de energia térmica para os secadores de argila, com geração simultânea de energia elétrica. Neste esquema de

operação, parte da energia elétrica seria exportada para as instalações industriais, em alguns casos localizados próximas às unidades de secagem, ou devem ser enviadas para uma rede interna de distribuição. Dependendo da opção adotada, motor ou turbina, há excedente de energia elétrica a ser exportada para a rede externa da concessionária, com remuneração a tarifas estabelecidas pela legislação pertinente.

6. Configuração com Motogeradores

No esquema da Figura 7, o arranjo compreende três motores alternativos com potência nominal total de 6 MWe (3 × 2 MWe), o suficiente para fornecer a quantidade de gases quentes para dois secadores. Os gases exaustos dos motores devem ser diluídos com ar ambiente para ajustar a temperatura de secagem a 250 °C.

7. Configuração com Turbogeneradores

No esquema da Figura 8, o arranjo consiste de um conjunto turbogerador (compressor de ar e turbina a gás) com potência nominal 3,5 MWe, suficiente para fornecer a quantidade de gases quentes para dois secadores. Os gases exaustos também devem ser diluídos com ar ambiente para o ajuste da temperatura de secagem especificado.

8. Análise Comparativa

A análise comparativa feita a seguir considera como hipótese que em todas as três alternativas, deve-se ter disponíveis cargas térmicas nos gases quentes similares e suficientes para o processo de secagem. Desta forma, tendo em vista que a razão entre disponibilidades de calor e energia elétrica são diferentes nos esquemas com motogeradores e turbogeradores, resulta que as potências instaladas deverão ser diferentes, como indica os valores constantes na Tabela 1. Estes valores obtidos são estimativos para uma instalação típica de 1.650.000 m²/mês de produção, calculados com base nos valores fornecidos pelos fabricantes de motores e turbinas.

A Tabela 2 apresenta os valores estimados para as emissões calculados com base nos fatores de emissão de motores e turbinas a gás disponível na literatura Lora e Haddad (2006)².

Para o cálculo dos custos operacionais necessários à avaliação econômica foram adotados os parâmetros constantes na Tabela 3. Na Tabela 4 estão resumidos os principais resultados da análise econômica das alternativas, devendo ser analisados tomando-se como referência a situação atual em que a secagem é feita naturalmente.

Na secagem artificial, segundo a configuração convencional com a utilização de gerador de gases quentes, os valores obtidos indicam que, apesar da solução implicar na adição de 0,19 Nm³.m⁻² de piso ao consumo específico global atual de gás natural, haveria uma redução nos custos operacionais com secagem da ordem de 30%. Deduzidos os custos adicionais com energia elétrica para acionamento dos novos equipamentos, resultaria economia líquida anual estimada em R\$ 624.000,00. Esta é a alternativa que envolveria o menor volume de investimentos (~R\$ 3.600.000,00), com a menor taxa de retorno, 15,53%, admitindo-se 15 anos de período de amortização, e taxa de juros de 15% ao ano.

Também merecem destaque os valores calculados para a configuração do sistema de secagem utilizando os motogeradores. Nesta situação, ao consumo específico de gás natural atual, 1 Nm³.m⁻² de piso, seriam acrescidos 0,37 Nm³.m⁻² de piso. Este custo adicional, deduzido da economia obtida com a eliminação da conta de energia elétrica, acrescida da renda obtida com a venda da energia elétrica gerada, proporciona economia líquida anual estimada em R\$ 6.481.000,00. Dentre todas analisadas, esta é a alternativa que requer o maior volume de investimentos (~R\$ 8.930.000,00), mas, que apresenta a taxa de retorno mais atrativa (72,54%).

A configuração de cogeração com o turbogerador, pelo fato da turbina apresentar "menor eficiência na geração de energia elétrica"

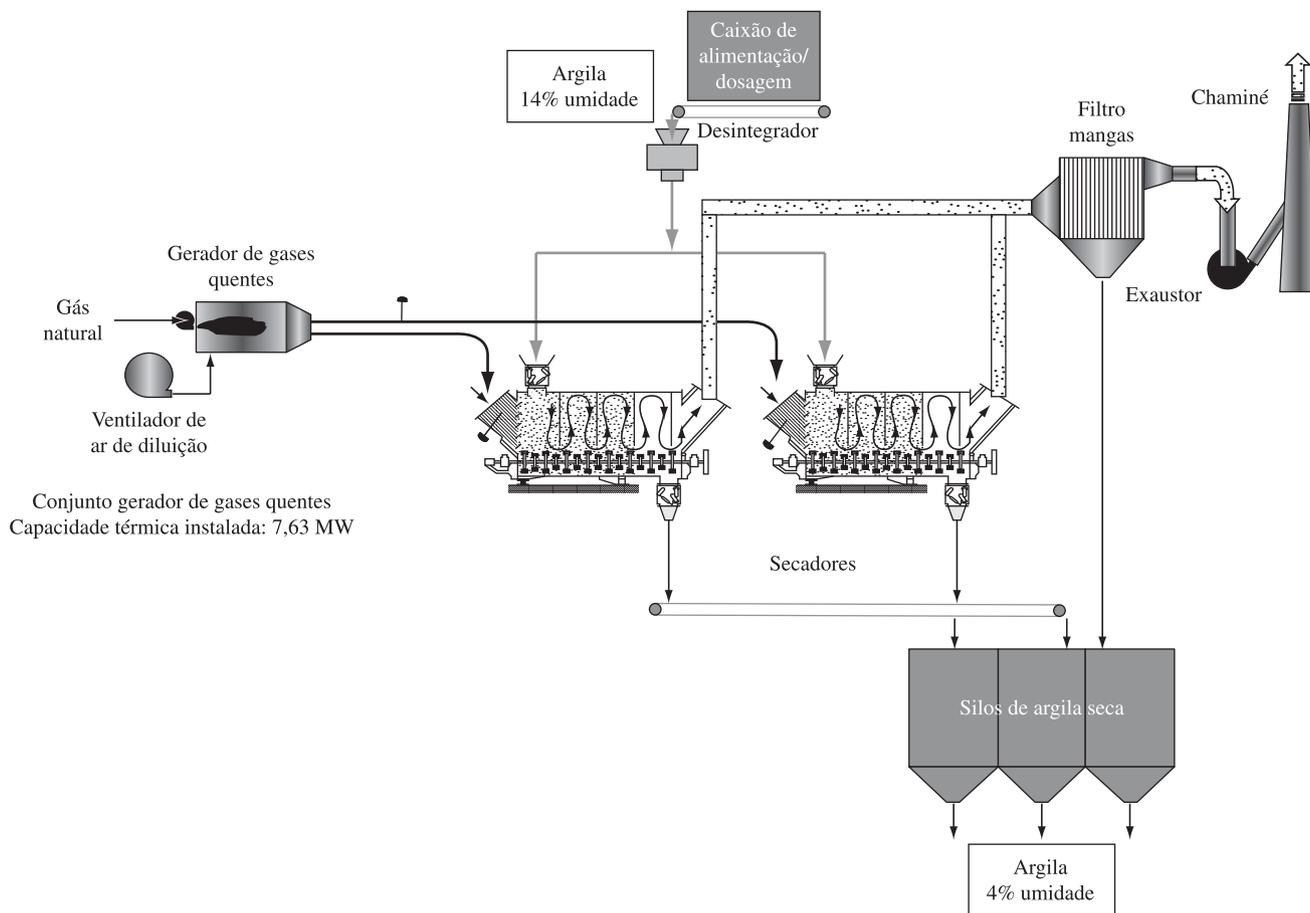


Figura 5. Configuração convencional de secagem com gerador de gases quentes.

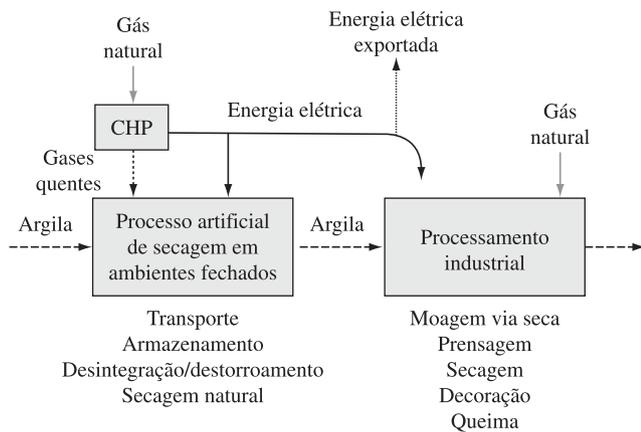


Figura 6. Fluxograma simplificado de alternativas de secagem com cogeração.

em relação aos motores, não atende à demanda de energia elétrica do processo de fabricação. A economia líquida anual estimada é menor (R\$ 2.220.000,00), pois não há geração de excedentes exportáveis de energia elétrica, apesar da redução significativa da conta de energia elétrica. Do ponto de vista do retorno do investimento, os valores obtidos situam-se entre as duas alternativas anteriores, com taxas de retorno também atrativas, 26,19%, porém com valores de investimento não proporcionalmente menores (R\$ 8.216.000,00).

Todas as previsões apresentadas na Tabela 4 são bastante sensíveis às variações dos parâmetros adotados constantes da Tabela 3, bem como dos custos envolvidos na secagem natural.

9. Impactos da Cogeração em Diferentes Cenários

A seguir são feitas considerações acerca dos impactos da adoção da secagem em sistema de cogeração segundo as diferentes configurações de sistemas de secagem consideradas no estudo para uma unidade industrial típica, caso fossem adotadas de modo generalizado em todas as indústrias do pólo cerâmico. Esta análise tem como premissa básica um cenário de escassez de energia proveniente de hidroelétricas, em que, parte da demanda de energia elétrica da rede de distribuição seria atendida por centrais termoeletricas.

Neste cenário, este exercício possibilitaria, em última análise, responder à seguinte situação hipotética: Se há que se utilizar gás natural para aportar energia elétrica na rede de distribuição, qual seria a alternativa mais eficiente para o uso do gás natural: na geração termoeletrica centralizada nas usinas existentes, p. ex Nova Piratininga (EMAE) ou, disponibilizar parte do gás natural para todo o polo, para auto-produção utilizando-o nos motogeradores ou turbinas nos sistemas de cogeração considerados no presente estudo?

Para esta análise, são considerados os valores de previsão de produção de pisos fornecidos pela Aspacer, verificados no ano de 2007 e as previsões para 2008. A demanda de energia elétrica e de gás natural de todo o setor foi estimada a partir dos consumos específicos de energia elétrica e de gás natural apurados durante os levantamentos de campo feitos no âmbito desse estudo.

Para o cálculo dos consumos de gás nas centrais termoeletricas, imaginaram-se três situações distintas com relação à eficiência térmica: a primeira admitindo-se que a geração fosse na central térmica de Carioba (Americana, SP) situada nas proximidades do

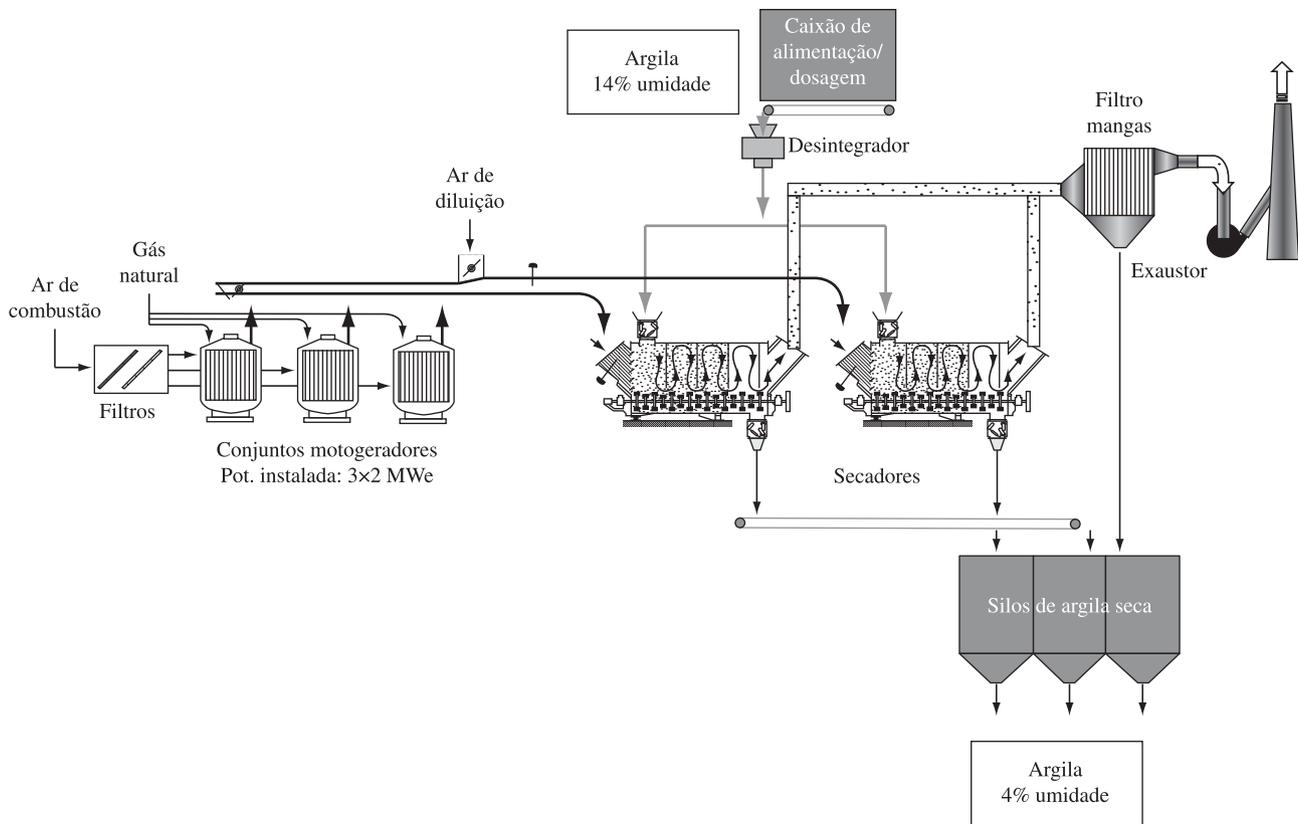


Figura 7. Configuração de cogeração com motogeradores.

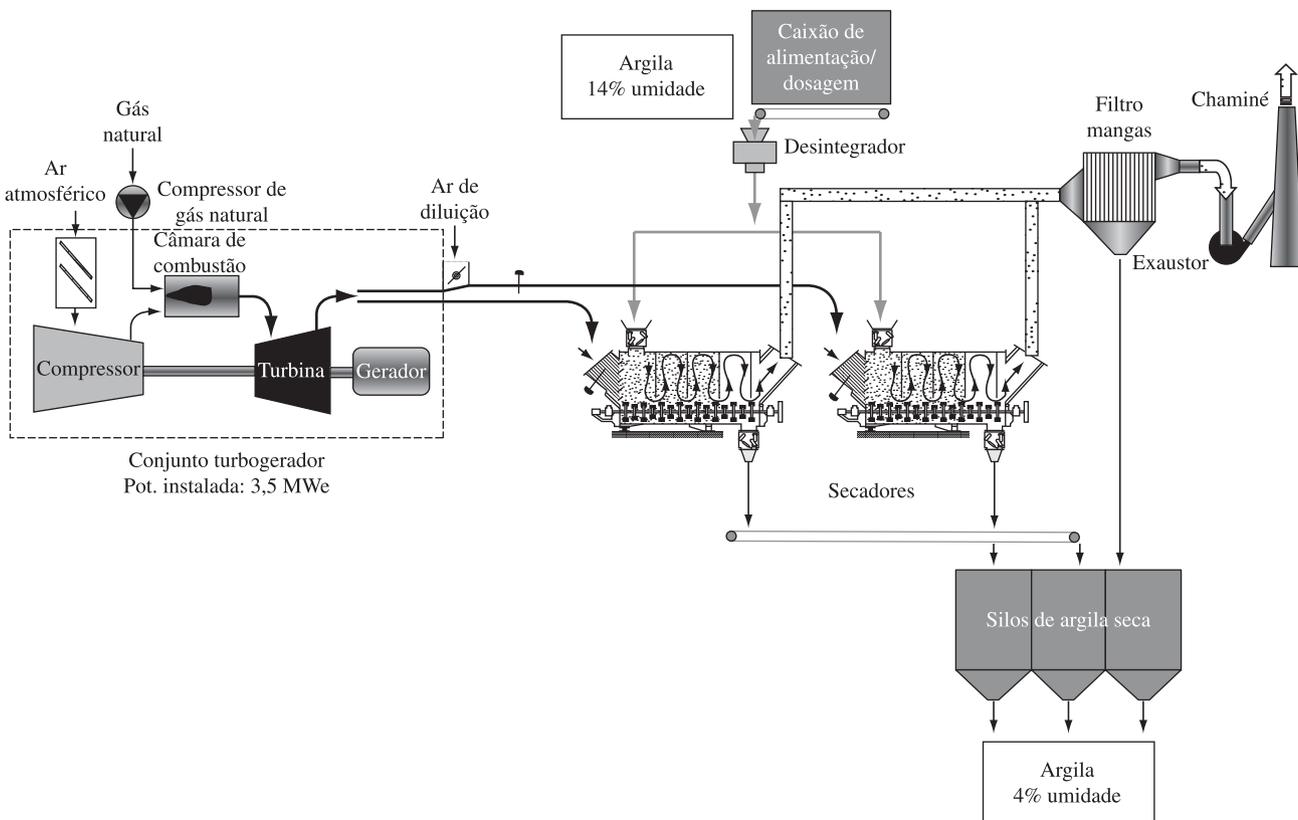


Figura 8. Configuração de cogeração com turbogerador.

Tabela 1. Disponibilidades de calor e trabalho.

		Cogeração		
		Gerador de gases quentes	Motogerador	Turbogerador
Total	(kW)	5140	10495	7915
Calor	(kW)	5140	5140	5140
(Térmica)	(%)	100	49,0	64,9
Trabalho	(kW)	0	4078	2142
(Elétrica)	(%)	0	38,8	27,0
Calor/Trabalho	–	–	1,26	2,40

Tabela 2. Previsão de emissões atmosféricas.

		Motogeradores ^(*)	Turbogerador ^(**)
NO _x	g/h	925	592
SO ₂	g/h	12,96	6,81
PM-10	g/h	55,5	68
CO ₂	g/h	2.545.225	1.289.306

^(*)Base de cálculo: 4,078 MW equipados com catalisador de três vias.

^(**)Base de cálculo: 2,14 MW.

Tabela 3. Parâmetros adotados na avaliação econômica das alternativas.

Parâmetro		Unidades de medida	Valor
Produção mensal		(m ² piso/mês)	1.650.000
Argila	Produção específica de piso	(m ² piso.t ⁻¹ de argila)	59
	Consumo específico de argila	(kg.m ⁻² piso)	16,95
	Umidade média inicial	(%)	14,00
	Umidade final	(%)	4,00
Gás natural	Tarifa de consumo normal	(R\$.m ⁻³)	0,757398
	Tarifa de consumo para cogeração	(R\$.m ⁻³)	0,679336
	Densidade (20 °C; 1 atm)	(kg.m ⁻³)	0,766
	Poder calorífico	(kJ.m ⁻³)	39348
		(kWh.m ⁻³)	10,932
Energia elétrica	Tarifa convencional	Demanda (R\$.kW ⁻¹)	9,26
		Consumo (R\$.kWh ⁻¹)	0,22488
	Tarifa de cogeração	(R\$.kWh ⁻¹)	0,679336
	Consumo específico	(kWh.m ⁻² piso)	1,22
	Demanda específica	(kW.m ⁻² piso)	0,00114

Tabela 4. Análise Econômica.

Parâmetro	Unidade	Secagem natural	Secagem artificial		
			Solução convencional	Soluções com cogeração	
				Motogerador	Turbogerador
Consumo específico	(Nm ³ .m ⁻²)	1,00	1,19	1,37	1,28
Potência total desenvolvida	(kW)	–	5396	10495	7915
Potência térmica gerada	(kW)	–	5140	5140	5140
Potência elétrica gerada	(kW)	–	–	4078	2142
Demanda de energia elétrica contratada	(kW)	2842	3197	–	1054
Economia líquida	(R\$/ano)	–	623.775,00	6.481.385,00	2.219.445,00
Investimento	(R\$)	–	3.555.921,00	8.932.775,00	8.216.604,00
Taxa interna de retorno	(%)	–	15,53	72,54	26,19

polo, mas, de baixa eficiência térmica (21%) operada pela CPFL com óleo combustível do tipo 2A, estimando-se o consumo equivalente energético de gás natural (base PCI). A segunda alternativa, com eficiência maior (35%), na hipótese de que a mesma central térmica fosse repotenciada e transformada para operar com gás natural, portanto, operando tipicamente de modo convencional. A terceira alternativa considera que a geração fosse feita na UTE Nova Piratininga em ciclo combinado, com eficiência típica de 55%.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos segundo os diferentes cenários: situação atual onde a secagem da argila feita de modo natural em pátios; e três cenários futuros em que a secagem seria feita de modo forçado. Considerando o volume de produção verificado no ano de 2008, na situação atual o consumo médio diário de gás natural somente para o processo de fabricação é estimado em

1,035 milhões de m³, e a demanda de energia elétrica do setor seria de aproximadamente 54,25 MW. Neste cenário, o montante de gás natural para a sustentação desta atividade industrial como insumo energético na hipótese mais conservativa, UTE de Piratininga, seria da ordem de 1,262 milhões de m³/dia.

No cenário futuro adotando-se a solução convencional de secagem forçada, a demanda de energia elétrica do setor aumentaria 12,5%, enquanto o consumo global de gás natural, na melhor situação aumentaria aproximadamente 18%. Em termos absolutos, seria 225.000 m³/dia de gás adicionais como insumos energéticos consumidos exclusivamente para o abastecimento do polo, necessário para a produção projetada para o setor pela Aspacor.

No cenário futuro, se adotada a solução com cogeração com motogeradores, as indústrias do polo estariam aportando 17,5 MW

Tabela 5. Impactos da cogeração no pólo de Santa Gertrudes em diferentes cenários.

Parâmetro	Unidade	Cenário atual	Cenários futuros		
			Solução convencional	Soluções com cogeração	
				Motogerador	Turbogerador
Produção anual (2008)	10 ⁶ m ²	378	378	378	378
Consumo específico	(Nm ³ .m ⁻²)	1,00	1,19	1,37	1,28
Consumo diário de GN no pólo	(Nm ³ /dia)	1.035.616	1.233.589	1.420.640	1.325.984
Demanda de energia elétrica da rede	(MW)	54,25	61,03	-17,51	20,12
Geração na UTE Carioba a óleo ^(*)	Eficiência térmica (%)	21	21	21	21
	Consumo de GN ^(**)	(Nm ³ /dia) 1.605.664	1.874.834	1.236.671	1.537.406
Geração na UTE Carioba (repotenciada a GN)	Eficiência térmica (%)	35	35	35	35
	Consumo de GN ^(**)	(Nm ³ /dia) 1.375.947	1.616.426	1.310.306	1.452.207
Geração na UTE Nova Piratininga	Eficiência térmica (%)	55	55	55	55
	Consumo de GN ^(**)	(Nm ³ /dia) 1.252.190	1.477.212	1.350.746	1.406.308

^(*)Consumo equivalente energético de óleo.

^(**)Consumo global de gás natural para o Pólo (fabricação + geração de energia elétrica).

à rede de transmissão de energia elétrica, consumindo 7,9% a mais de gás natural em relação à situação atual. Em relação ao cenário da solução convencional com gerador de gases quentes, representaria uma economia de gás natural de 126.466 m³/dia em termos absolutos, e em termos relativos, uma redução de consumo de gás natural da ordem de 8,6%.

Se adotada a solução com tubogeradores, a demanda de energia da rede de distribuição seria de 20,1 MW, ou seja, 37% dos valores estimados para a configuração atual. O consumo de gás natural para movimentação do setor, na melhor das hipóteses, seria de 1,406 milhões de m³/dia, o que representa um aumento de 12,3% no consumo de gás natural em relação à situação atual.

10. Conclusões

- É possível executar as operações de secagem da argila de modo artificial em substituição à prática de secagem natural em pátios. A temperatura do agente de secagem não deverá exceder a temperatura de 250 °C, sob pena de comprometer a qualidade dos processos subsequentes de conformação das placas cerâmicas;
- Todas as alternativas de sistemas de secagem propostas mostraram-se viáveis técnica e economicamente, com vantagens para a configuração com motogeradores; e,
- Num cenário de geração centralizada de energia elétrica em termelétricas a gás natural, a adoção de sistemas de cogeração para secagem de argila de modo generalizado nas indústrias do pólo, pode resultar redução do consumo global de energia.

- No que se refere aos impactos ambientais globais, em que pese o pior desempenho da alternativa com os motogeradores em relação às emissões de NO_x, os diferentes cenários considerados demonstram que a alternativa mais interessante do ponto de vista do empresário do setor cerâmico, também é aquela que pode propiciar melhor aproveitamento do gás natural como insumo energético, sobretudo em cenários de escassez de energia gerada a partir da hidroeletricidade, ou seja, nas situações em que seja essencial para a geração de energia elétrica para o suprimento da rede de distribuição de energia elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a equipe técnica da COMGAS pela possibilidade de publicação deste trabalho. Estendem os agradecimentos aos pesquisadores e técnicos do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas e da UFSCar/LaRC - Universidade Federal de São Carlos, e ao setor minero-cerâmico do Pólo de Santa Gertrudes, especialmente para as indústrias Incefra - Indústria Cerâmica Fragnani Ltda e Cerâmicas Triunfo Ltda pelo esforços dispensados que tornou possível a realização deste trabalho.

Referências

1. BERG, E. A. T.; NOGUEIRA, L. A. H. Cogeração na Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 3, 1996.
2. LORA, E. E. S.; HADDAD, J. **Geração distribuída**: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.