

## DETERMINAÇÃO DA MELHOR MISTURA DE COMBUSTÍVEIS E PCI DO GÁS MISTO PARA FORNOS DE REAQUECIMENTO MULTI-COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DAS DISPONIBILIDADES DE GASES E POTÊNCIA \*

*José Geraldo da Silva Moreira*<sup>1</sup>

*Eder Quental de Araújo*<sup>2</sup>

*Roberto Carneiro da Silva*<sup>3</sup>

*Patrick Petronio de Castro Andrade*<sup>4</sup>

### Resumo

Os fornos de reaquecimento são equipamentos comumente utilizados na indústria siderúrgica para aquecimento de produtos intermediários produzidos pelo processo de lingotamento. A operação correta desses equipamentos pode ser medida através de sua produtividade, seu consumo específico e seu rendimento metálico. Isso se torna ainda mais desafiante quando se trata de fornos multicomcombustível, e de uma siderúrgica integrada de grande porte como é o caso da Gerdau Ouro Branco, que possui 5 fornos de reaquecimento para atender a 5 diferentes laminações onde a disponibilidade de gases combustíveis é variável para cada forno. Dessa forma, esse trabalho traz uma metodologia de otimização capaz de determinar qual a melhor mistura de combustíveis e Poder Calorífico Inferior do Gás Misto (PCI<sub>GM</sub>) para operar os fornos de reaquecimento em diferentes situações e necessidades operacionais e de produção.

**Palavras-chave:** Forno de reaquecimento; otimização; gases combustíveis; potência do forno; estação misturadora, laminação.

## DETERMINATION OF THE BEST MIX OF FUEL AND MIXED GAS LCV FOR MULTI-FUEL REHEATING FURNACES IN THE FUNCTION OF THE GAS AND POWER AVAILABILITIES

### Abstract

Reheating furnaces are commonly used equipment in the iron and steel industry for heating intermediate products to produce the casting process. The correct operation of these equipments can be measured through its productivity, its specific consumption and its metallic performance. This becomes even more challenging when it comes to multi-fuel furnaces and a large integrated steel plant such as Gerdau Ouro Branco, which has 5 reheating furnaces to attend 5 different rolling mills where the availability of combustible gases is variable for each oven. Thus, this work brings an optimization methodology capable of determining the best mix of fuels and Low Calorific Value (LCV) to operate the reheating furnaces in different situations and operational and production needs.

**Keywords:** Reheating furnace; optimization; gas fuels; oven power; mixing station, rolling mills.

<sup>1</sup> *Mestre em Engenharia de Energia CEFET/UFSJ, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestre em Engenharia de Energia CEFET/UFSJ, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Eletricista UNIPAC, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

<sup>4</sup> *Estudante de Engenharia de Produção UNIPAC, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os fornos de reaquecimento são equipamentos de combustão estacionária utilizados nas laminações das siderúrgicas para aquecimento de produtos intermediários produzidas pelo processo de lingotamento, sejam eles blocos, placas ou tarugos. Esse equipamento desempenha a função de aquecer os materiais recebidos dos lingotamentos, de acordo com as condições especificadas, até torná-los suficientemente plásticos para o processo de laminação. No Brasil temos diversos tipos de fornos de reaquecimento instalados nas siderúrgicas, os quais, por sua vez podem consumir um ou mais combustíveis. Geralmente, nas siderúrgicas integradas de grande porte, são mais comuns os fornos multicomcombustível, que consomem uma mistura de dois ou mais gases, podendo ser o BFG (Gás de Alto-forno), COG (Gás de Coqueria), LDG (Gás de Aciaria) ou GN (Gás Natural). Nas usinas semi-integradas é mais comum fornos de reaquecimento que consomem apenas gás natural ou óleo combustível.

A maior parte das siderúrgicas integradas de grande porte no Brasil produzem apenas placas em seus lingotamentos, os quais abastecem linhas de laminadores ou são destinadas para seus clientes como produto final. Um caso isolado é a usina siderúrgica da Gerdau Ouro Branco, a qual possui três diferentes lingotamentos que produzem blocos, placas e tarugos para abastecerem as cinco diferentes linhas de laminações que por sua vez produzem, perfis estruturais, fio-máquina, bobinas de tiras à quente e chapas grossas. Tamanha diversidade de produtos e rotas trás desafios operacionais para os responsáveis pela distribuição de combustíveis e também para os clientes que consomem os gases combustíveis, pois a disponibilidade desses gases é diferente para cada forno de aquecimento dependendo do cenário e das premissas de produção da usina. Um dos cenários possíveis, é que, devido às crises mundiais e baixa margem, as siderúrgicas buscam constantemente a otimização de seus processos, por exemplo, nas plantas de Coqueria, as quais sempre estão testando novos tipos de misturas de carvões e conforme demonstrado por Araújo et. al (2018), o aumento da participação de alguns materiais como é o caso CVP (Coque Verde de Petróleo) podem reduzir a geração de Gás de Coqueria em 15 % dependendo do % desse material na mistura de carvão, além de influenciar no PCI do gás gerado. Com isso a disponibilidade de gases para os processos de laminações é variável.

Na figura 1 é apresentada uma imagem de um dos fornos de reaquecimento da usina, no caso o forno de reaquecimento de perfis estruturais.



**Figura 1.** Forno de reaquecimento de perfis da Gerdau Ouro Branco.

Na Figura 2, extraída de Da Silva Moreira et. Al (2007) ilustra a tela do atual sistema supervisório da estação misturadora do forno de reaquecimento de fio-máquina. Como pode ser observado na imagem, chegam à estação três linhas, trazendo gás de coqueria (COG), gás de alto-forno (BFG) e Gás Natural (GN). As linhas de gás de coqueria e alto-forno são isoladas das linhas principais dos respectivos gases por meio de válvulas V (selos d'água) as quais são abertas ou fechadas manualmente pelo operador do forno. A linha de gás natural é isolada da linha principal por meio de um sistema "gás key", composto de bloqueio duplo com vent intermediário. Após as válvulas de bloqueio estão localizadas as válvulas controladoras, responsáveis pela regulação das vazões de cada gás. Posteriormente, os gases são enviados a um misturador tangencial, produzindo o gás misto, que segue para o forno de reaquecimento.

O objetivo das malhas de controle é manter a pressão na saída e o PCI/ Índice de Wobbe estáveis. Esses fornos geralmente trabalham com PCI médio de 2300 kcal/Nm<sup>3</sup>, no entanto, as malhas da estação de mistura permitem o ajuste de valores diferentes. Para estes controles, observa-se um acoplamento entre os controles de pressão e Wobbe, devido ao fato de que a atuação da pressão em apenas um combustível altera a relação e a atuação do Wobbe em apenas um combustível altera a soma das vazões o que por sua vez altera a pressão, foi implementado uma malha composta basicamente pelos seguintes controles:

- Controle de pressão - O controlador de pressão atua simultaneamente nos dois combustíveis, elevando ou reduzindo a vazão dos mesmos sem que se alterasse a relação entre eles.
- Controle de índice de Wobbe - Atua também simultaneamente nos dois combustíveis aumentando a vazão de um deles e reduzindo a vazão do outro sem que se altere a soma das duas vazões.

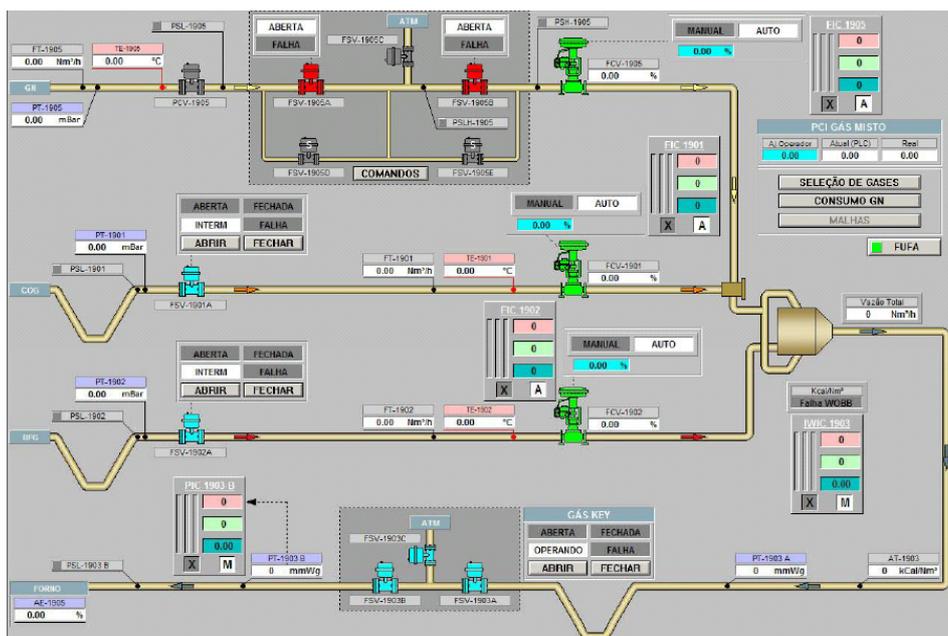


Figura 2. Diagrama Básico da Estação de Mistura Atual.

Conforme demonstrado por Araújo (2015) os fornos de reaquecimento são responsáveis por 60 % do consumo energético de uma linha de laminação, dessa forma, além de operar com melhor mistura de combustível e o PCI mais indicado, é fundamental a busca por um melhor aproveitamento energético, já que tal consumo é responsável por uma das parcelas mais onerosas dos custos operacionais do processo de laminação.

Com a utilização de 3 combustíveis na mistura, e a possibilidade de se variar o PCI da mesma, o número de possibilidades de combinações torna-se teoricamente infinito e surgem então novas possibilidades de decisão e otimizações, como por exemplo:

- Com qual PCI de Gás Misto e qual % de GN obtem-se a maior potência do forno?
- Nas situações em que não há disponibilidade de GCO, qual deve ser o PCI de Gás Misto utilizado no forno para garantir a potência nominal disponível?
- Por que o rendimento do forno cai quando se utiliza GCO puro com PCI de 4300 kcal/Nm<sup>3</sup>?
- Qual o % de GN deve ser colocado quando se utiliza o PCI nominal de Gás Misto de 2300 kcal/Nm<sup>3</sup> e pretende-se obter a maior potência possível?

Todas as perguntas acima serão respondidas com a metodologia e tratamento matemático que foi utilizado e que será apresentada nos próximos itens.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Nessa etapa do trabalho será demonstrada o tratamento matemático utilizado para determinar os percentuais de cada combustível na mistura, assim como o consequente PCI do gás misto. Também será apresentada o equacionamento utilizado para calcular as diferentes limitações físicas dos fornos de reaquecimento.

### 2.1 Tratamento Matemático

A determinação das vazões teóricas dos gases na estação de mistura de cada forno de reaquecimento segue o sistema de equações lineares apresentado pelas equações 1 e 2. Pode ser observado que existem infinitas combinações que geram um PCI especificado de gás misto, visto que existem 2 equações e 3 incógnitas.

$$PCI_{GM} = x_{COG}PCI_{COG} + x_{BFG}PCI_{BFG} + x_{GN}PCI_{GN} \quad (1)$$

$$x_{COG} + x_{BFG} + x_{GN} = 100\% \quad (2)$$

Onde x representa o % de cada gás de processo conforme a sigla já identificado acima.

A existência de um conjunto finito de soluções presume a determinação de um valor fixo para um dos gases, desta forma, os demais gases são definidos automaticamente pelo sistema de equações. Nas equações 3 e 4 tem-se as

fórmulas para calculam os percentuais de gases no modo GN fixo e nas equações 5 e 6 apresenta-se os cálculos para os percentuais de gases no Modo COG fixo.

### Modo GN fixo

$x_{GN}$  = percentual de gás natural definida pelo operador entre 0 e 19 %

$$x_{COG} = \frac{(PCI_{GM} - PCI_{BFG})}{(PCI_{COG} - PCI_{BFG})} - x_{GN} \times \frac{(PCI_{GN} - PCI_{BFG})}{(PCI_{COG} - PCI_{BFG})} \quad (3)$$

$$x_{BFG} = \frac{(PCI_{GM} - PCI_{COG})}{(PCI_{BFG} - PCI_{COG})} - x_{GN} \times \frac{(PCI_{GN} - PCI_{COG})}{(PCI_{BFG} - PCI_{COG})} \quad (4)$$

### Modo COG fixo

$x_{COG}$  = percentual de gás de coqueria definida pelo operador entre 0 e 43 %

$$x_{GN} = \frac{(PCI_{GM} - PCI_{BFG})}{(PCI_{GN} - PCI_{BFG})} - x_{COG} \times \frac{(PCI_{COG} - PCI_{BFG})}{(PCI_{BFG} - PCI_{BFG})} \quad (5)$$

$$x_{BFG} = \frac{(PCI_{GM} - PCI_{GN})}{(PCI_{BFG} - PCI_{GN})} - x_{COG} \times \frac{(PCI_{COG} - PCI_{GN})}{(PCI_{BFG} - PCI_{GN})} \quad (6)$$

Neste momento, também é importante definirmos a potência fornecida pelos combustíveis ao forno de reaquecimento, a qual é calculada pela multiplicação da vazão total de gás misto pelo PCI da mistura, conforme descrito na equação 7.

$$P = Q_{GM} PCI_{GM} \quad (7)$$

Onde Q representa a vazão de um gás enviado para o forno.

## **2.2 Definição dos limites de operação com a utilização de Gás Natural**

Para determinar os limites de operação dos fornos de reaquecimento com as diversas possibilidades de composição do gás misto é necessário a avaliação individual dos diversos fatores limitantes e seu reflexo na capacidade de vazão de gás misto. Na nossa análise consideramos os seguintes fatores:

### Limitações na capacidade das linhas individuais dos gases puros

Para cada linha de combustível há um limite de vazão, determinado pelo diâmetro, comprimento, curvas, válvulas de controle e outros, o qual pode ser obtido dos dados de projeto do forno. Com base nestes valores e nos percentuais de cada combustível na mistura podemos obter as equações de 8 a 10, as quais definem as

vazões máximas de gás misto de acordo com as vazões e % de cada combustível na mistura.

$$Q_{GM}^{max} = \left( \frac{Q_{COG}^{max}}{\%_{COG}} \right) \quad (8)$$

$$Q_{GM}^{max} = \left( \frac{Q_{BFG}^{max}}{\%_{BFG}} \right) \quad (9)$$

$$Q_{GM}^{max} = \left( \frac{Q_{NG}^{max}}{\%_{NG}} \right) \quad (10)$$

### Limitação na capacidade de envio de ar de combustão

Outro fator importante é a capacidade de envio de ar de combustão, a qual é limitada pelas capacidades dos ventiladores, das linhas e queimadores. Esta limitação afeta diretamente a capacidade de envio de gás misto em função da relação ar/gás ( $\lambda_{AR/GM}$ ) conforme equação 11.

$$Q_{GM}^{max} = \left( \frac{Q_{AR}^{max}}{\lambda_{AR/GM}} \right) \quad (11)$$

### Limitação na capacidade das linhas das zonas queimadores em função da variação de densidade

Partindo da premissa de uma mesma pressão diferencial entre a saída da misturadora e interior do forno, a alteração da mistura afeta diretamente a capacidade máxima das das linhas de queimadores ( $Q_{Zonas}^{max}$ ) em uma relação com a raiz das relações das densidades do GM da misturadora e do GM de projeto, conforme equação 12.

$$Q_{GM}^{max} = Q_{Zonas}^{max} \sqrt{\left( \frac{Densidade_{GM}}{Densidade_{GM}^{proj}} \right)} \quad (12)$$

### Impactos da mistura na temperatura de chama, comprimento de chama e velocidade de chama

Além das avaliações das limitações de capacidade impostas pelos projetos específicos de cada forno, é necessária a avaliação dos efeitos da variação da mistura na temperatura, velocidade e comprimento de chama. Esta análise foi feita, mas não é objeto deste trabalho. De forma geral há uma boa intercambiabilidade entre o GCO e o GN, uma vez que a menor vazão de GN necessária é compensada pela menor velocidade de chama que o metano do GN tem em relação ao H2 do GCO.

Uma vez definidas as limitações pelas equações 8 e 12, pode-se escrever a equação 13 que determina que a vazão máxima de gás misto é uma função do mínimo encontrado entre as relações anteriores:

$$Vazão_{GM}^{max} = \min \left( \left( \frac{Vazão_{GCO}^{max}}{\%_{GCO}} \right), \left( \frac{Vazão_{GAF}^{max}}{\%_{GAF}} \right), \left( \frac{Vazão_{GN}^{max}}{\%_{GN}} \right), \left( \frac{Vazão_{AR}^{max}}{\lambda_{AR/GM}} \right), \left( Vazão_{Zonas}^{max} \sqrt{\frac{Densidade_{GM}}{Densidade_{GM}^{proj}}} \right) \right) \quad (13)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

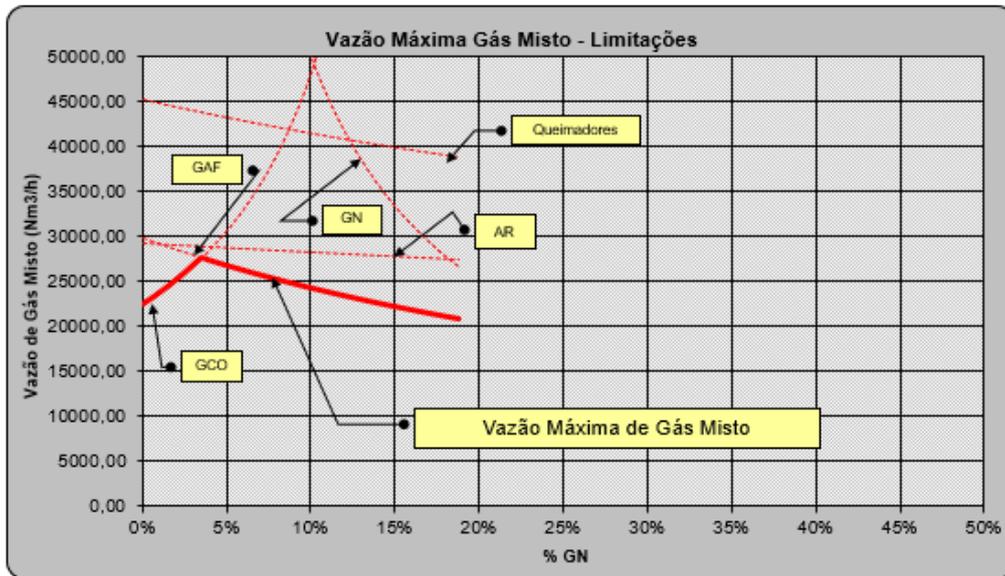
Para realização desse trabalho foi escolhido o forno da laminação de perfis como modelo para aplicação da metodologia e simulação dos resultados. Na tabela 1 são apresentadas as características dos gases combustíveis, os parâmetros do forno de reaquecimento de perfis e respectivas limitações dos sistemas auxiliares.

**Tabela 1.** Parâmetros dos gases e do forno de reaquecimento de perfis estruturais.

Dados dos gases	Unidade	Valores
PCI COG	Kcal/Nm <sup>3</sup>	4.300
PCI BFG	Kcal/Nm <sup>3</sup>	800
PCI GN	Kcal/Nm <sup>3</sup>	8.800
Dens. Relativa COG	-	0,33
Dens. Relativa BFG	-	1,07
Dens. Relativa GN	-	0,78
Dens. Relativa GM nom.	-	0,80
Relação Ar/COG	-	4,48
Relação Ar/BFG	-	0,61
Relação Ar/GN	-	10,28
Vazão máx. COG	Nm <sup>3</sup> /h	9.675
Vazão máx. BFG	Nm <sup>3</sup> /h	17.025
Vazão máx. GN	Nm <sup>3</sup> /h	5.000
Vazão nom. GM	Nm <sup>3</sup> /h	23.000
Pressão nom. GM	mmH <sub>2</sub> O	800
Potência nom.	kcal/h	52.518.200
Vazão Máx. Ar	Nm <sup>3</sup> /h	66.500
Vazão máx. zona 1	Nm <sup>3</sup> /h	3.150
Vazão máx. zona 2	Nm <sup>3</sup> /h	3.750
Vazão máx. zona 3	Nm <sup>3</sup> /h	6.000
Vazão máx. zona 4	Nm <sup>3</sup> /h	19.880
Vazão máx. zona 5	Nm <sup>3</sup> /h	3.259
Vazão máx. zona 6	Nm <sup>3</sup> /h	7.915
Vazão máx. zona 7	Nm <sup>3</sup> /h	-
Vazão máx. zona 8	Nm <sup>3</sup> /h	-
Vazão máx. zonas	Nm <sup>3</sup> /h	43.954

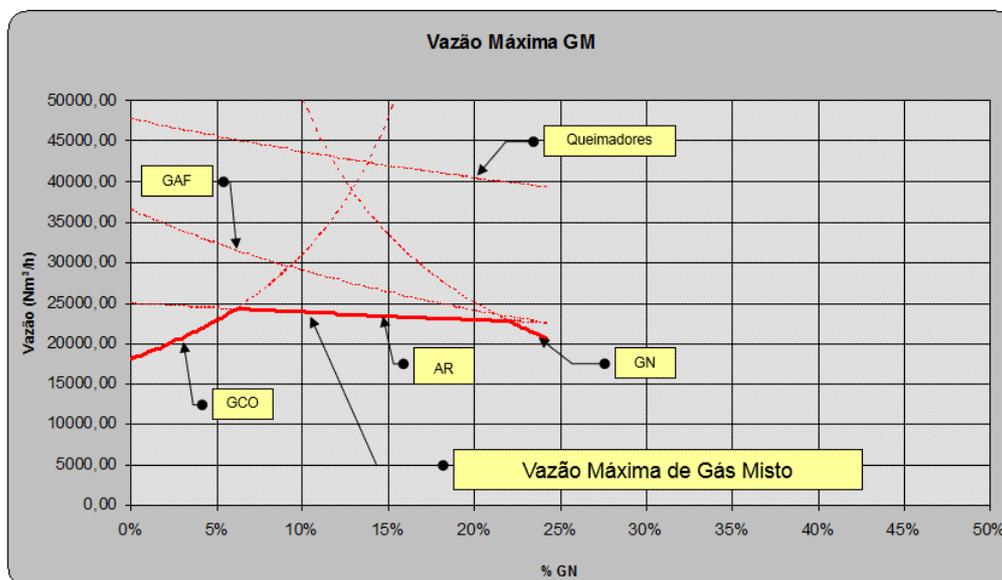
Utilizando as equações de 8 a 12 e fixando o PCI do gás misto no valor de referência o qual é 2.300 kcal/Nm<sup>3</sup>, podemos traçar as curvas de limitações da vazão de gás misto para cada parâmetro em função do % de um terceiro combustível. A figura 3 mostra o gráfico com as vazões máximas em função do % de

GN para um dos parâmetros limitadores. Nesse caso é possível observar que a vazão máxima e consequente potência máxima possível de gás misto para esse PCI (2.300 kcal/Nm<sup>3</sup>) é de 27.619 Nm<sup>3</sup>/h e é atingida com 3,5 % de GN na mistura. É interessante observar que nesse ponto ocorre a interseção entre a curva do COG e a curva do BFG, que, neste caso são as curvas que limitam a vazão máxima do gás misto para esse PCI.



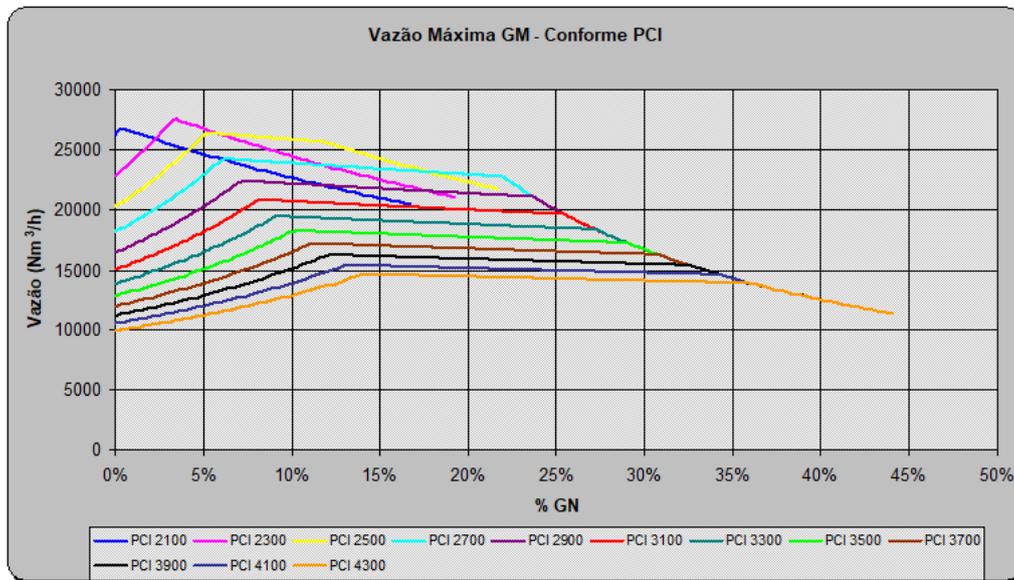
**Figura 3.** Vazão máxima do gás misto para o PCI de 2300 kcal/Mm 3 em função do % de GN e dos parâmetros limitadores.

Para fins de comparação, na figura 4 apresenta-se o mesmo gráfico exibido acima, no entanto, fixando o PCI em 2.700 kcal/Nm<sup>3</sup>. Foi escolhido esse PCI pois o mesmo apresenta o maior número de interseções entre os parâmetros limitadores como pode ser observado no gráfico abaixo. Para esse PCI a vazão máxima é de 24.073 Nm<sup>3</sup>/h e é atingida com 6,25 % de GN na mistura. Nesse caso é interessante observar que a limitação da vazão máxima ocorre na interseção entre a curva de COG e de ar para combustão, e dessa forma, a limitação é devido ao ar para combustão.

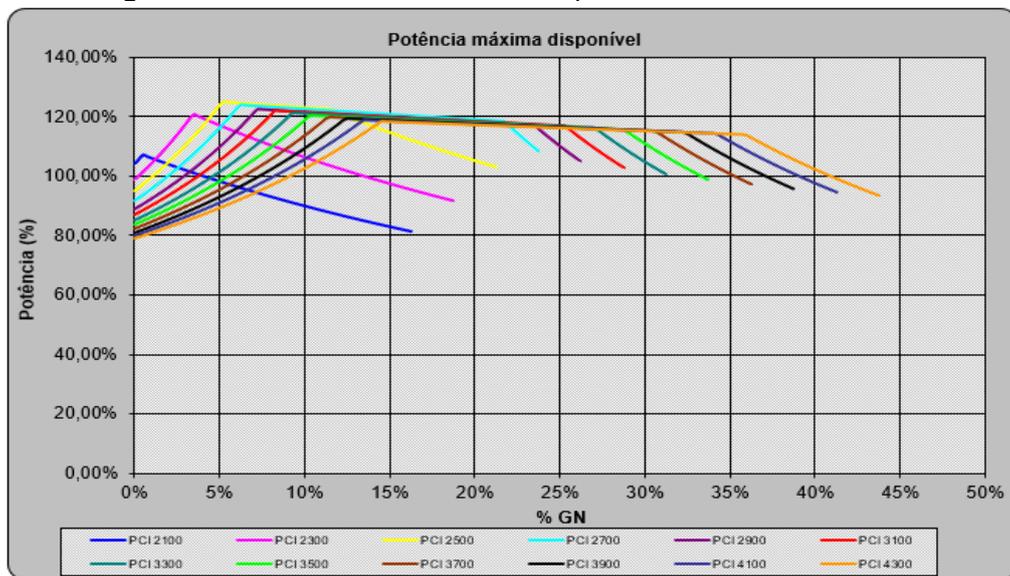


**Figura 4.** Vazão máxima do gás misto para o PCI de 2700 kcal/Nm<sup>3</sup> em função do % de GN e dos parâmetros limitadores.

Na figura 5 apresenta-se o gráfico das vazões máxima do gás misto para todos os possíveis PCI's em função do percentual fixado de gás natural. Verifica-se que o ponto de vazão máxima do gás misto ocorre para o PCI de 2300 Kcal/Nm<sup>3</sup>, juntamente no ponto que foi comentado anteriormente na figura 1 (27.619 Nm<sup>3</sup>/h e 3,5 % de gás natural).



**Figura 5.** Vazão Máxima do Gás Misto para cada PCI e do % de GN.



**Figura 6.** Potência máxima disponível em função PCI e do % de GN.

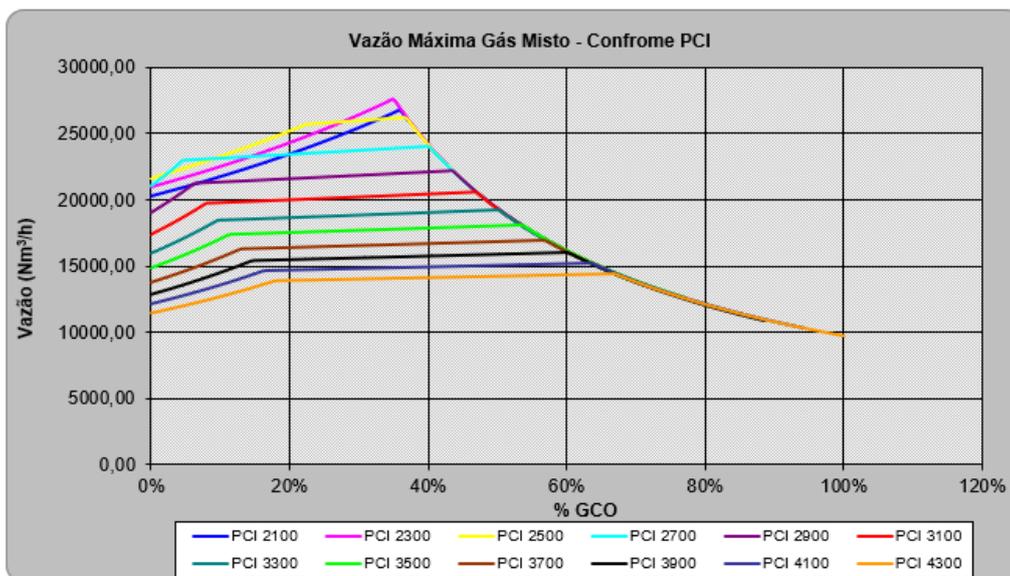
A figura 6 acima é composta pelo gráfico das potências máximas entregues para cada PCI em função do percentual fixado de gás natural. Observa-se que o ponto de maior potência é o de 125% da potência nominal e o mesmo acontece com 5% de GN para o PCI de 2.500 kcal/Nm<sup>3</sup>. Dessa forma, esse é PCI do gás misto de referência para operação quando, for necessária uma maior produtividade.

No entanto, caso não haja gás natural disponível ou quando viabilidade econômica de operar com esse combustível não for justificada, é possível obter uma potência

de 105 % da potência nominal trabalhando com o PCI de 2.100 kcal/Nm<sup>3</sup>. Outro ponto importante a ser observado é que quando necessário trabalhar-se com o PCI padrão e 2.300 kcal/Nm<sup>3</sup> e obter uma maior potência, a mesma é conseguida no ponto de 3,5 % de gás natural que entrega uma potência de 120 % da nominal.

Um outro detalhe interessante que pode ser verificado na figura 6 é que diferentemente do que a maioria das pessoas podem pensar em um primeiro momento, o maior PCI especificado para esse forno que no caso é o de 4.300 kcal/Nm<sup>3</sup>, não é o que entrega a maior potência quando o % de gás natural é 0%. Nessa situação esse PCI entrega cerca de 81% da potência nominal, por limitações na vazão máxima de COG. Nesse caso, seria necessário trabalhar com a mistura dos três gases acrescentando cerca de 8% de gás natural para atingir a potência nominal do forno. Para atingir a potência nominal com GCO puro ou até mesmo atingir potências superiores seria necessário aumentar a capacidades das tubulações de COG.

Na figura 7 apresenta-se o gráfico das vazões máxima do gás misto para todos os possíveis PCI's em função do percentual fixado de gás de Coqueria. Verifica-se que o ponto de vazão máxima do gás misto também ocorre para o PCI de 2.300 Kcal/Nm<sup>3</sup> e com 35% de COG na mistura de combustíveis.



**Figura 7.** Vazão Máxima do Gás Misto para cada PCI e % de GCO.

A figura 8 ilustra o gráfico das potências máximas entregues para cada PCI em função do percentual fixado de COG. Observa-se que o ponto de maior potência é o de 124,97% da potência nominal e o mesmo acontece com 36,57% de COG e para o PCI de 2.500 kcal/Nm<sup>3</sup>. Dessa forma, quando for necessário turbinar o forno para obter uma maior produtividade, a operação deve optar por esse PCI do gás misto.

No entanto, caso não haja disponibilidade de gás de coqueria, é possível obter uma potência nominal alterando o PCI do gás misto para trabalhando com o PCI de 3.100 ou 3.300 kcal/Nm<sup>3</sup>, nesse caso, quando for necessário apenas a potência nominal deve-se optar pelo PCI de 3.100 kcal/Nm<sup>3</sup> pois 0 % de GCO além de atingir uma potência um pouco maior que PCI de 3.300 kcal/Nm<sup>3</sup> é necessário um menor percentual de gás natural. Nesse mesmo cenário de indisponibilidade de gás de coqueria, pode-se observar no gráfico abaixo que o PCI que entrega a maior potência no caso 106% da nominal é o PCI de 2.700 kcal/Nm<sup>3</sup>, sendo assim, deve-

se optar por esse PCI caso necessário manter o forno com a potência máxima possível no cenário com 0% de Gás de Coqueria

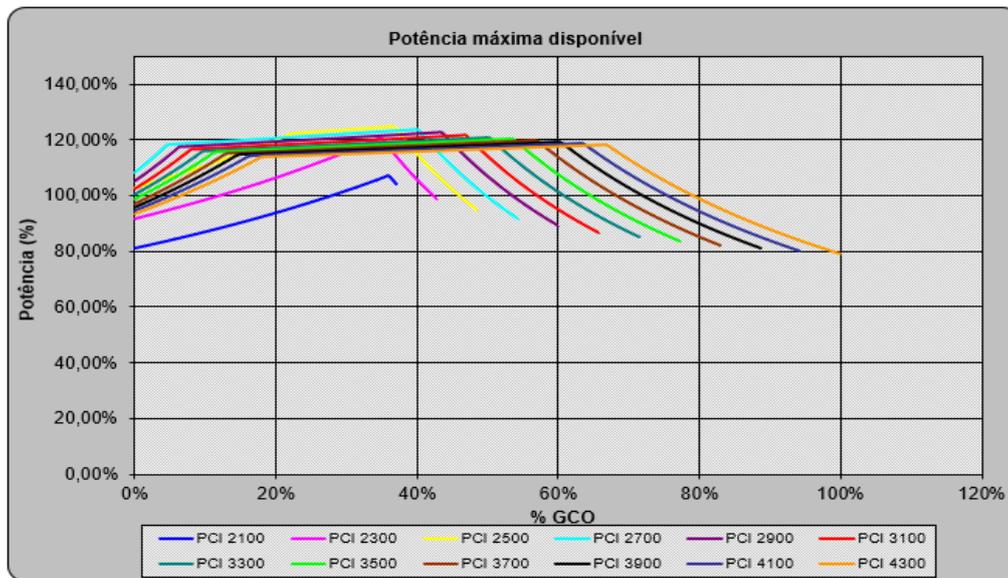


Figura 8. Potência máxima disponível em função PCI e do % de GCO.

#### 4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi apresentada uma metodologia e um tratamento matemático simples e eficaz para determinar quais os valores de PCI e de mistura de combustível para satisfazer diversos cenários operacionais. Foi possível demonstrar graficamente, que o PCI que pode entregar as maiores vazões do gás misto quando fixado o % de COG ou GN é o PCI de 2.300 kcal/Nm<sup>3</sup>, no entanto, é com o PCI de 2.500 que se obtém as maiores potências para o forno de aquecimento. Além disso, foi provado que mesmo na ausência de um dos combustíveis maior poder calorífico, ou seja, indisponibilidade de COG ou GN, é possível atingir a potência nominal do forno e até mesmo potências maiores.

Mais do que responder de forma clara e objetiva as questões comentadas acima, esse trabalho permite demonstrar todo leque de opções possíveis para se operar o forno de aquecimento, e através da metodologia optar por aquele ponto que melhor atenda a necessidade do processo em cada tipo de situação levando em conta as limitações, demanda e menor consumo de gás natural.

## REFERÊNCIAS

- 1 Araújo, Q. E.; “Modelo de Balanço Energético para Gerenciamento e Previsão de Demandas para uma Planta Siderúrgica Típica Brasileira”. Universidade Federal de São João del rei, São João del rei, Minas Gerais, 2015, 113 p.; Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia).
- 2 Araújo, Q. E.; Da Silva, G. L. R.; da Silva Moreira, J. G.; (2018) “ IMPACTOS NA MATRIZ ENERGÉTICA DEVIDO AO AUMENTO DO ENFORNAMENTO DO COQUE VERDE DE PETRÓLEO NAS COQUERIAS”. São Paulo, São Paulo, 39º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM.
- 3 Da Silva Moreira, J. G.; Machado, O. F.; Da Silva, R. C.; De Oliveira, C. M.; De Freitas, M. A (2007) “ LÓGICA DE CONTROLE UTILIZANDO TRÊS COMBUSTÍVEIS NA ESTAÇÃO DE MISTURA DO FORNO DE REAQUECIMENTO DA LAMINAÇÃO DE PERFIS GERDAU AÇOMINAS”. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 11º Seminário de Processos da ABM.
- 4 Descritivo Funcional Forno de Reaquecimento da Laminação de Perfis - Documento interno, Gerdau Açominas
- 5 Descritivo Funcional do Sistema de Gás Natural do Forno de Reaquecimento da Laminação de Perfis, Documento interno, Gerdau Açominas.
- 6 El-Mahallawy, F. M.; Habik S. E. “FUNDAMENTAL AND TECHNOLOGY OF COMBUSTION”. Atlanta: Elsevier, 2002.