

# AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE PELOTAS NO ALTO-FORNO 02 DA SAINT-GOBAIN CANALIZAÇÃO

Marcelo Resende Pereira <sup>(2)</sup>

Lucas Martins da Costa Coura <sup>(3)</sup>

Valério Toledo Oliveira <sup>(4)</sup>

## Resumo

Durante todo o ano de 2002, a Saint-Gobain Canalização operou somente com o Alto-Forno suprindo toda a demanda de gusa líquido da usina. Entretanto, com o aumento da necessidade de fornecimento de ferro líquido ocorrido no mês de agosto, surgiu a necessidade de se buscar maior produtividade neste reator, de forma a suprir toda a demanda de gusa líquido do período em questão. Com isso, partiu-se para o uso de pelotas na carga, tendo como objetivos principais: I. Aumentar a permeabilidade da carga, possibilitando uma operação estável mesmo que com maiores vazões de ar, e conseqüentemente aumentando a produção de ferro líquido; II. possibilitar uma operação com temperatura de sopro mais elevada, através do ganho de permeabilidade, o que representa redução no consumo de carvão. Com o uso da pelota foi possível alcançar-se produtividades da ordem de 2,16 ton/m<sup>3</sup> v.u., além de contribuir para redução no consumo de carvão. Os resultados obtidos com pelota são comparados com aqueles obtidos com sinter a coque na carga.

**Palavras-chave:** alto-forno, produtividade, pelotas

## High Productivity and Fuel Rate Reduction Using Pellets at Saint-Gobain Canalização Blast Furnace 2 Burden

### Abstract

During all the year of 2002, Saint-Gobain Canalização – Barra Mansa Works, only operated with blast furnace 2 supplying all of the hot metal requirements. However, with the increase of hot metal requirements occurred in August, it was necessary to increase the productivity of blast furnace 2. Then, the use of pellets in the burden was initiated with the following objectives: I. To increase the permeability of the bed, allowing a high blast volume operation; II. To allow a high blast temperature operation, reducing the fuel rate. Using pellets it was possible to reach high productivity in blast furnace 2, beyond contributing for reduction in the fuel rate. The results reached with pellets are compared with those obtained with sinter.

**Key-words:** blast furnace, pellets, productivity

### I. INTRODUÇÃO

A Saint-Gobain Canalização, usina Barra Mansa/RJ, é no Brasil, a única fabricante de tubos de ferro fundido nodular centrifugados, numa gama de diâmetros que vai de 80 até 1200mm, para adução de água e esgoto.

O processo de centrifugação consiste em se vaziar o metal líquido em um molde giratório (coquilha) refrigerado externamente. A força centrífuga gerada projeta o metal contra a superfície interna da coquilha, onde o mesmo se solidifica, sofrendo uma pequena contração, que permite a extração do tubo. Como se trata de uma solidificação brusca,

ocorre a formação de carbonetos (cementita e/ou perlita), dependendo da taxa de resfriamento, porém sendo eliminados na etapa seguinte do processo, o tratamento térmico, que garante ao tubo melhores propriedades mecânicas. Em seguida os tubos recebem uma cobertura externa de zinco via deposição eletrolítica, conferindo ao mesmo maior resistência a corrosão. A próxima etapa consiste em se aplicar aos tubos um revestimento interno de cimento e, finalmente, uma camada externa de tinta.

<sup>(2)</sup> Engenheiro Metalurgista; Chefe dos setores de alto-forno e fabricação de tubos, Saint-Gobain Canalização – Barra Mansa/RJ;

<sup>(3)</sup> Engenheiro Metalurgista; Engenheiro de processo setor de alto-forno, Saint-Gobain Canalização – Barra Mansa/RJ;

<sup>(4)</sup> Técnico Metalurgista; Supervisor geral de produção setor de alto-forno, Saint-Gobain Canalização – Barra Mansa/RJ.

Além de tubos, a Saint-Gobain Canalização fabrica também conexões, válvulas e outros acessórios em ferro fundido nodular.

A usina de Barra Mansa possui dois altos-fornos a carvão vegetal, sendo que no decorrer do ano de 2002 operou apenas com o AF02, suprimindo toda a demanda de ferro líquido da usina.

## 2. DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ALTO-FORNO 02

Nas tabelas 1, 2 e 3 são apresentadas as principais características do AF02 (Tabela 1), análise típica da carga (Tabela 2) e dados operacionais (Tabela 3).

**Tabela 1.** Principais características do AF02

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| Diâmetro do cadinho (m)          | 3,44             |
| Volume interno (m <sup>3</sup> ) | 185              |
| Volume útil (m <sup>3</sup> )    | 169              |
| Número de ventaneiras            | 10               |
| DN das ventaneiras (mm)          | 100              |
| Furos de gusa                    | 1                |
| Regeneradores                    | 2 ("Cowpers")    |
| Sistema de carregamento          | Correias transp. |
| Sistema de topo                  | duplo cone       |
| Refrigeração                     | externa          |

**Tabela 2.** Análise típica da carga

| %                              | Minério | Sínter | Pelota |
|--------------------------------|---------|--------|--------|
| Fe                             | 66,5    | 55     | 64,5   |
| SiO <sub>2</sub>               | 2,34    | 5,8    | 3,30   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,07    | 1,2    | 0,90   |
| CaO                            |         | 10     | 2,50   |
| MgO                            |         | 1,1    | 0,10   |
| P                              | 0,10    | 0,055  | 0,035  |

## 3. UTILIZAÇÃO DE PELOTAS NA CARGA

Os testes com o uso da pelota como componente parcial da carga do alto-forno 02 tiveram início no dia 01/08/02 e se estenderam até o dia 19/08/03. Dentro deste período foram selecionados para análise os dias nos quais o AF02 operou com índice de funcionamento igual a 100% e não houve necessidade de se retomar carvão dos depósitos, de forma a se obter resultados mais confiáveis. Com isso, os resultados operacionais obtidos com pelota na carga são comparados com aqueles obtidos com sínter a coque na carga, em períodos onde foi requerida alta produtividade.

**Tabela 3.** Dados operacionais AF02 (valores médios ano 2002)

| Parâmetros de Processo         | unidades                | ano 2002 |
|--------------------------------|-------------------------|----------|
| <b>Condição de sopro</b>       |                         |          |
| temperatura do ar              | °C                      | 842      |
| temperatura de chama           | °C                      | 1956     |
| vazão de ar                    | Nm <sup>3</sup> /h      | 16130    |
| Consumo específico de ar       | Nm <sup>3</sup> /ton.   | 1580     |
| Pressão de ar                  | g/cm <sup>2</sup>       | 570      |
| <b>Carga</b>                   |                         |          |
| Carvão rate                    | Kg/ton.                 | 589      |
| sínter                         | %                       | 14,5     |
| pelotas                        | %                       | 3,8      |
| minério                        | %                       | 77,8     |
| sucata interna                 | %                       | 3,9      |
| <b>Produção</b>                |                         |          |
| Gusa líquido                   | ton/dia                 | 248      |
| Produtividade                  | ton/m <sup>3</sup> v.u. | 1,47     |
| Funcionamento                  | %                       | 91       |
| <b>Qualidade do gusa</b>       |                         |          |
| Temperatura                    | °C                      | 1424     |
| C                              | %                       | 3,91     |
| Si                             | %                       | 2,09     |
| Mn                             | %                       | 0,21     |
| P                              | %                       | 0,11     |
| S                              | %                       | 0,009    |
| <b>Análise da escória</b>      |                         |          |
| CaO                            | %                       | 32,3     |
| SiO <sub>2</sub>               | %                       | 45,4     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %                       | 17,7     |
| MgO                            | %                       | 3,4      |
| Basicidade binária             |                         | 0,71     |
| Slag rate                      | Kg/ton                  | 141      |

O sínter foi utilizado na carga durante o período de março de 2001 até agosto de 2002, sendo que no período dos testes com a pelota, o mesmo foi retirado da carga do alto-forno. Durante os dois períodos avaliados (sínter e pelota) utilizou-se sucata na carga do alto-forno, com o objetivo de aumento de produtividade e redução do consumo de combustível.

A pelota e o sínter, ao chegarem na usina sofriam um peneiramento antes do enforamento, de forma a se separar as partículas inferiores a 4mm. Após a classificação, ambas as matérias-primas eram enforadas juntamente com o minério de ferro e fundentes, no caso da pelota tal condição é obrigatória, haja vista a grande inclinação da correia n° 5, que conduz as matérias-primas peneiradas ao topo do forno. Em ambos os casos (carga com sínter e carga com pelota) utilizou-se a seguinte seqüência de cargas: C<sub>↓</sub>C<sub>↓</sub>M<sub>↓</sub>M<sub>↓</sub>. As tabelas abaixo mostram as principais características físico-químicas das pelotas utilizadas:

**Tabelas 4 e 5.** Características físico-químicas das pelotas

| ANÁLISE QUÍMICA BASE SECA      |       |
|--------------------------------|-------|
| Fe                             | 64,5  |
| SiO <sub>2</sub>               | 3,3   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,9   |
| Mn                             | 0,3   |
| P                              | 0,035 |
| CaO                            | 2,5   |
| MgO                            | 0,1   |
| TiO                            | 0,06  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,02  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,02  |
| H <sub>2</sub> O               | 2,5   |
| basicidade binária             | 0,75  |

| ANÁLISE GRANULOMÉTRICA |          |
|------------------------|----------|
| + 16 mm                | 3%       |
| 8 a 16mm               | 85 - 95% |
| -6,3mm                 | 3%       |
| RESISTÊNCIA MECÂNICA   |          |
| 300 Kg/pelota          |          |
| MASSA ESPECÍFICA       |          |
| 1900 Kg/m <sup>3</sup> |          |

#### 4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS COM SÍNTER E PELOTA NA CARGA DO ALTO-FORNO 02

A metodologia empregada nos testes com sinter e pelota foi idêntica, ou seja, foi-se aumentando gradativamente a participação destas matérias-primas na carga e monitorando-se todas as variáveis pertinentes ao processo.

No caso específico do sinter, o percentual considerado ótimo foi da ordem de 30% na carga, pois com este valor foi possível operar-se sem a necessidade de aumento significativo no "slag rate", devido ao elevado volume de escória e alto índice de basicidade binária (1,72) do sinter. Quando se tentou operar com maiores quantidades de sinter na carga (superior a 30%) foi necessário elevar o "slag rate" para próximo de 200 kg/ton, o que trouxe prejuízos à permeabilidade além de aumentar o consumo de combustível. Outro fator importante é a grande diferença entre os tamanhos médios do sinter e do minério bitolado, 22 e 11mm, respectivamente.

No caso da pelota não existiu tal limitação de composição química, pois a mesma possui índice de basicidade binária muito próximo daquele objetivado para a escória do alto-forno (0,7 a 0,75). A única limitação para uma carga com elevado percentual de pelota (superior a 50%) foi a dificuldade de se conduzir este material ao topo do alto-forno, em virtude da inclinação da correia transportadora número 5 (12°). Com isso, a quantidade máxima de pelota por carga ficou limitada como aquela que pôde ser distribuída sobre a camada de minério, de forma a não haver retorno de pelotas por esta correia.

#### 5. VAZÃO DE AR

Para produzir em média 327ton./dia com o sinter, foi necessário fornecer uma vazão de ar média de 21190Nm<sup>3</sup>/h, ou seja, 1556 Nm<sup>3</sup>/ton.

Com a pelota, para uma produção de 367ton/dia, a vazão média foi de 20296Nm<sup>3</sup>/h, ou 1329Nm<sup>3</sup>/ton, o que representa uma redução de 15% no consumo específico de ar; conforme pode ser visto nos Gráficos 7 e 8 em anexo.

#### 6. PRODUTIVIDADE

A utilização da pelota (27% em média) na carga possibilitou um aumento significativo na produtividade do alto-forno 02, alcançando um pico de 2,19 ton/m<sup>3</sup> (ou 372 ton) no dia 12/08, e mantendo uma média de 2,16 ton/m<sup>3</sup> (ou 367 ton)

no período. Com o sinter, em um percentual médio de 26%, a média alcançada foi de 1,92 ton/m<sup>3</sup> (ou 327 ton), ou seja, com a pelota foi possível aumentar a produtividade em 12,5% em relação ao sinter; conforme mostram os Gráficos 1 e 2. A produtividade média de 1,92 na carga com sinter foi alcançada juntamente com um percentual de sucata médio de 12,5% enquanto que a produtividade média de 2,16 na carga com pelota foi alcançada com uma média de 7,9% de sucata na carga, conforme apresentam os Gráficos 11 e 12.

#### 7. CONSUMO DE CARVÃO

A pelota mostrou-se uma matéria-prima surpreendente em se tratando de reduzir o consumo de carvão. Enquanto uma carga com 26% sinter e 12,5% sucata consumiu em média 574kg CV/ton, uma carga com 27% de pelota e 7,9% de sucata consumiu em média 535kg CV/ton; ou seja, uma redução de 6,8% no consumo de carvão.

Entretanto, se comparadas as duas cargas sem sucata, a carga com sinter consumiria 657kg CV/ton para uma produção média de 327ton/dia; já a carga com pelota consumiria 587kg CV/ton, para uma produção média de 367ton/dia, isto é, 11% a menos; conforme nota-se nos Gráficos 3 e 4.

Quando se analisa o Gráfico 4 nota-se um aumento de consumo de carvão, à medida que se aumenta a produção utilizando-se pelotas; porém, tal fato se deve a redução na temperatura de sopro conforme será mencionado a seguir, fato este não ocorrido no período de utilização do sinter.

#### 8. PERMEABILIDADE

O ganho de permeabilidade mostrou-se muito significativo com o uso da pelota. Foi possível um aumento na temperatura de sopro da ordem de 11%, isto é, na campanha com sinter o alto-forno 02 operou em média com 730°C, enquanto que com a pelota operou com 807°C, possibilitando reduzir o consumo de carvão, conforme pode ser observado nos Gráficos 3 e 4. No decorrer dos testes com a pelota foi sendo reduzida a

temperatura de sopro em virtude da perda de temperatura dos cowpers, provocada pela diminuição do poder calorífico do gás de alto-forno, único combustível disponível para aquecimento dos regeneradores.

O efeito da pelota fica claro quando se compara a pressão do ar soprado (pressão de base), em ambas as campanhas (Gráficos 5 e 6).

Na campanha com sínter observou-se um aumento na pressão de base à medida que se aumentou a produção do alto-forno, o que exigiu uma redução de 20°C na temperatura de sopro (Gráfico 9). Na campanha com pelota, a pressão manteve-se praticamente constante para todos os níveis de produção (Gráfico 6). Com o sínter, a pressão média foi de 686g/cm<sup>2</sup> enquanto que com a pelota foi de 664g/cm<sup>2</sup>, fato esse que possibilitou a operação com tela de 4mm no carvão, enquanto que com o sínter a estabilidade de marcha só foi alcançada com tela de 6mm. A troca de tela de 6 para 4mm representa uma redução de cerca de 4% na geração de finos de carvão, diminuindo a necessidade de aquisição desta matéria-prima.

## 9. GÁS DE ALTO-FORNO (GAF)

A utilização da pelota influenciou também a composição dos gases gerados no

processo, por ser uma matéria-prima de elevada redutibilidade e proporcionar uma operação estável e com menor consumo de ar. O seu uso aumentou a parcela de redução indireta no alto-forno, ou seja, o GAF ficou mais rico em CO<sub>2</sub>, perdendo cerca de 13% do seu poder calorífico, o que implicou em dificuldade no aquecimento dos regeneradores ("Cowpers"), com conseqüente redução de temperatura de sopro ao longo do período de teste da pelota, o que de certa forma impediu-se de operar com temperaturas de sopro mais elevadas, mesmo quando os parâmetros de operação do forno mostraram ser possível.

## 10. QUALIDADE DO GUSA

Em se tratando de qualidade do gusa, foi observada uma queda no teor de silício ao longo dos dias quando se usou pelota. Porém, tal fato está ligado à redução na temperatura de sopro de 830°C até 778°C, com queda na temperatura de chama. No caso do sínter tal fato não foi observado, conforme apresentado no Gráfico 13.

A temperatura do gusa tendeu a diminuir nos dois casos, porém de forma mais pronunciada na campanha com pelota (Gráfico 14), em função da queda da temperatura de chama e pelo aumento da umidade da carga metálica, haja vista que o sínter e a pelota não foram submetidos a secagem prévia, como acontece com o minério granulado, que tem sua umidade reduzida a valores inferiores a 1%.

## 11. CONCLUSÕES

Tanto a pelota quanto sínter a coque mostram-se capazes de aumentar a produtividade do AF02 sem aumentar o consumo de combustível; porém, com a pelota conseguem-se maiores níveis de produtividade e menor consumo de carvão mesmo com menor quantidade de sucata na carga;

Quando utilizada em percentuais elevados, a pelota influencia na composição do gás de alto-forno, tornando-o mais rico em CO<sub>2</sub>, devido sua melhor redutibilidade em relação ao minério, trazendo dificuldades no aquecimento dos "Cowpers". Tal fato não ocorreu com o uso do sínter;

3. A limitação a uma carga contendo mais de 50% de pelota é a inclinação da correia transportadora principal, enquanto que a limitação para uma carga com mais 30% de sínter foi seu elevado volume de escória.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSIS, P.S.; SAMPAIO, R.S. **Novos processos de ferro primário**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1999. (apostila)
2. BRAGA, R.N.B.; PEREZ, F.A.; NEVES, F.J.; SILVA, L.C.L. **Aspectos tecnológicos relativos a preparação de carga e operação de alto-forno**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1994. (apostila)

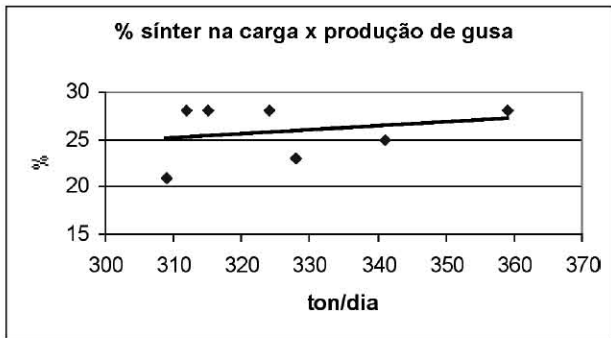


Gráfico 1

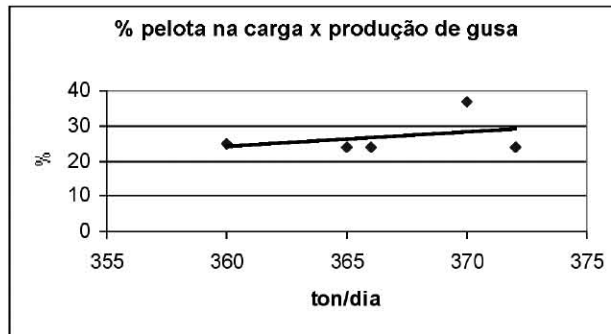


Gráfico 2

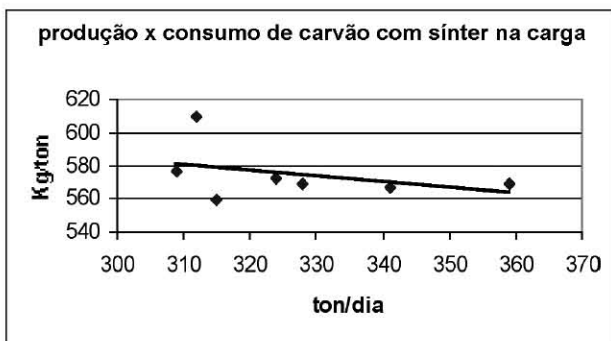


Gráfico 3

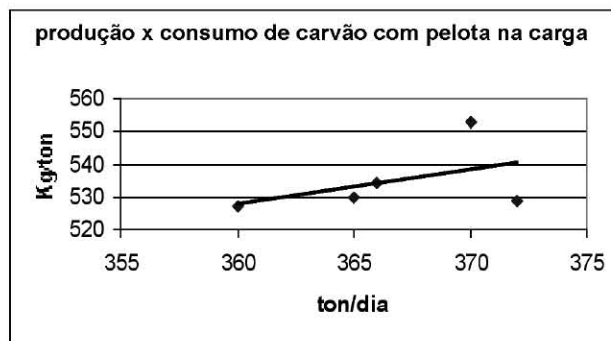


Gráfico 4

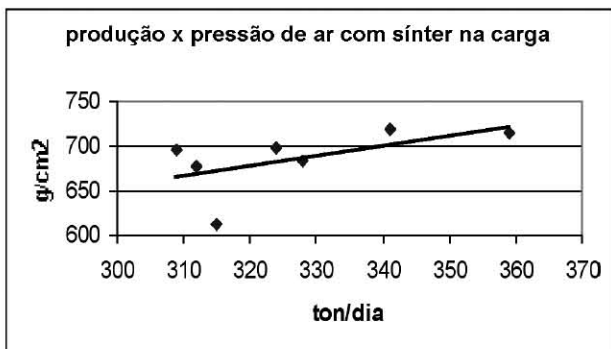


Gráfico 5

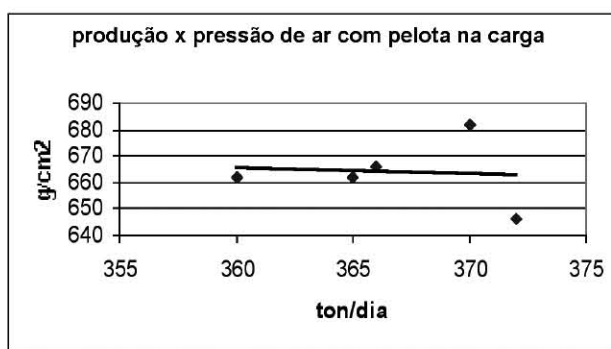


Gráfico 6

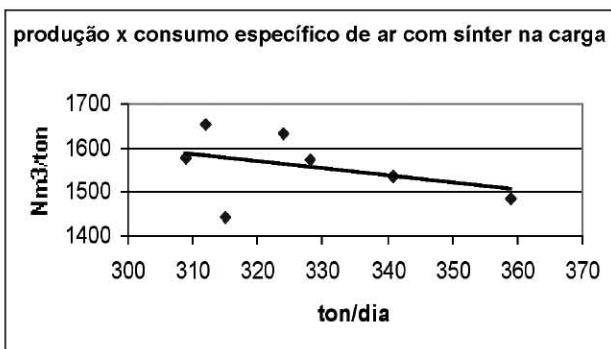


Gráfico 7

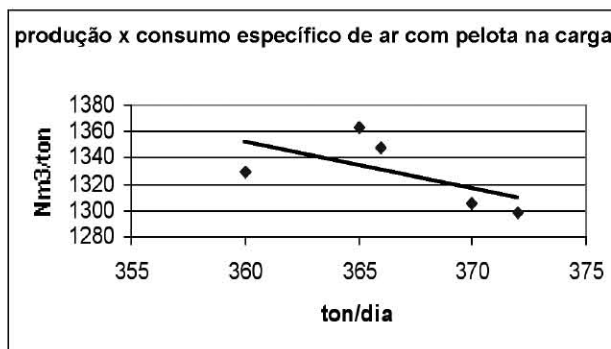


Gráfico 8

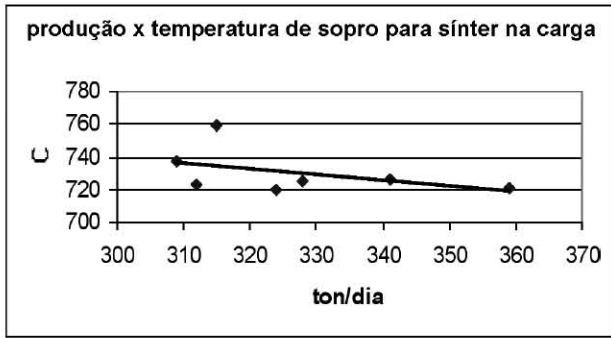


Gráfico 9

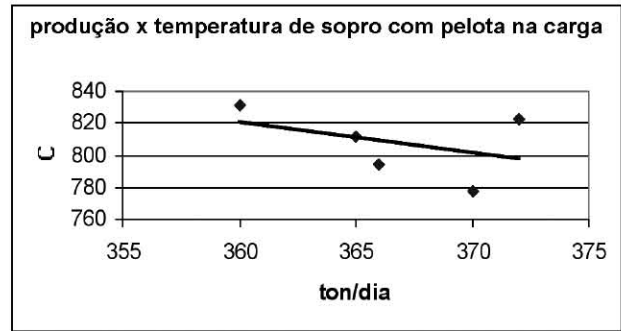


Gráfico 10

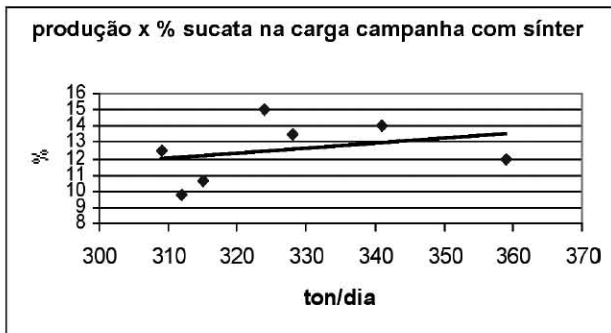


Gráfico 11

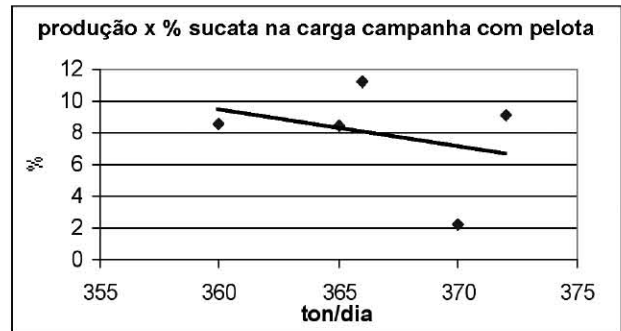


Gráfico 12

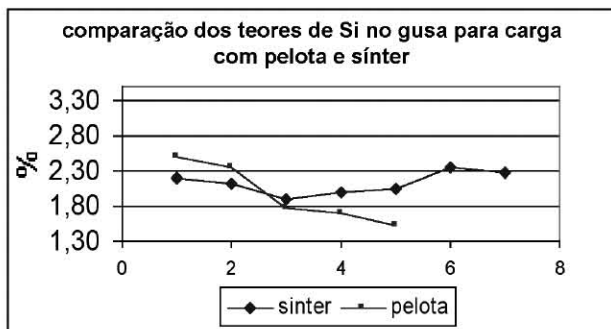


Gráfico 13

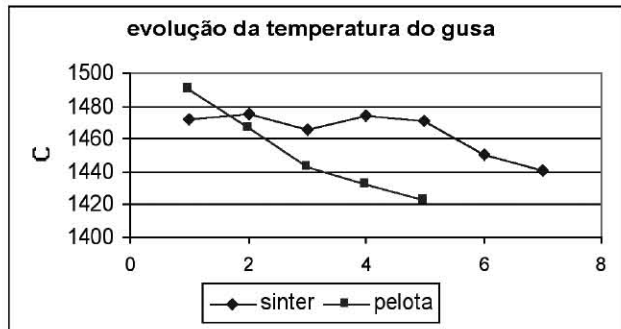


Gráfico 14