

REVAMP DO DRUM MIXER DAS PLANTAS DE SINTERIZAÇÃO 1 E 2 DA USIMINAS*

Marcos Cordeiro Fonseca¹
Manoel Gomes de Souza Neto²
Roberto Gomes da Silveira Junior³
Geraldo da Conceição Moraes⁴

Resumo

A maximização de sinter na carga dos altos-fornos tem se mostrado a maneira mais viável economicamente para a produção de gusa na Usiminas. Esse fato tem levado a empresa a desenvolver projetos que visam o aumento de produção das sinterizações. Nesse contexto, o presente trabalho aborda a experiência recente da troca do tambor misturador (*drum mixer*) das Máquinas de Sinterização 1 e 2 contribuindo no aumento de produtividade operacional devido à otimização do projeto original. Durante 13 dias ocorreu a substituição do tambor original instalado em 1974 por um novo tambor com melhorias no projeto dos internos e no sistema de aspersão de água. A mudança no projeto contribuiu para formação efetiva de micropelotas e, como resultado, o aumento de produtividade das Máquinas de Sinter. Diversos aspectos do projeto são apresentados, entre eles: engenharia, planejamento, segurança, fabricação, qualidade técnica, cronograma e um comparativo entre os parâmetros de funcionamento do equipamento antes e após a implantação.

Palavras-chave: Sinterização; Produtividade; Projeto; Tambor Misturador.

REVAMP OF USIMINAS SINTER PLANT 1 & 2 DRUM MIXER

Abstract

Sinter maximization in the blast furnaces charge has proven to be the most economically viable way to produce pig iron at Usiminas. This fact has led the company to develop projects aimed at increasing the production of sintering. In this context, the present work shows the recent experience of Sintering Machines 1 and 2 drum mixer exchanging contributing to the increase of operational productivity due to the optimization of the original design. For 13 days was the replacement of the original drum installed in 1974 by a new drum with improvements in the design of the internal and the sprinkling water system. The improvements contributed to the effective formation of micro-pellets and, as a result, increased productivity of Sinter Machines. Several aspects of the project are presented: engineering, planning, safety, manufacturing, technical quality, schedule and a comparison between the parameters of the equipment operation before and after the implantation

Keywords: Sinter Plant, Productivity; Project; Drum Mixer.

¹ Engenheiro Mecânico, MSc, Engenheiro Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Engenheiro Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil

³ Engenheiro Mecânico, Engenheiro Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Técnico Metalurgia, Técnico Produção, Gerência Técnica Redução, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

Numa planta de sinterização, a aglomeração a frio é uma das etapas que apresenta maior impacto à produtividade das máquinas de sinter, tendo em vista a permeabilidade do leito de fusão. Os equipamentos que compõem essa parte do processo devem ser projetados e dimensionados em consonância com a capacidade produtiva das máquinas e com a qualidade desejada do sinter produto, influenciados pelas matérias primas e pelo perfil de mistura e micropelotização do composto a sinterizar.

Na Usiminas, as Sinterizações 1 e 2 compartilham a mesma linha de aglomeração a frio que é composta por um misturador intensivo e um tambor misturador horizontal (*drum mixer*). A figura 1 ilustra o fluxo de abastecimento das máquinas de sinter com destaque para o *drum mixer*.

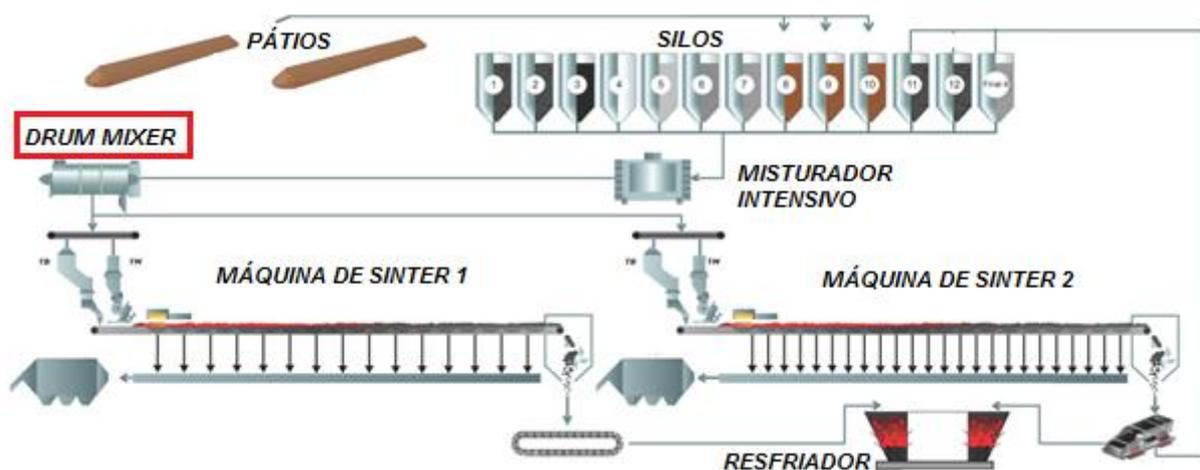


Figura 1. Fluxo de abastecimento das máquinas de sinter 1 e 2 da Usiminas.

O *drum mixer* originalmente instalado em 1974 considerava a realidade das matérias primas da mesma época, cuja distribuição granulométrica e composição química requeriam equipamentos com parâmetros de umidade e de forma construtiva diferentes da realidade dos últimos anos.

Vista à obsolescência e buscando a otimização do conceito original do Tambor Misturador da Usiminas, o projeto de *revamp* do equipamento tem atenção a tais fatores e leva em consideração o percentual de umidade e o tempo de residência ideal para alcançar a melhor formação de micropelotas a sinterizar. A figura 2 apresenta o conjunto do tambor misturador original da Usiminas cuja operação se encerrou em dezembro de 2018 com a instalação do novo tambor.

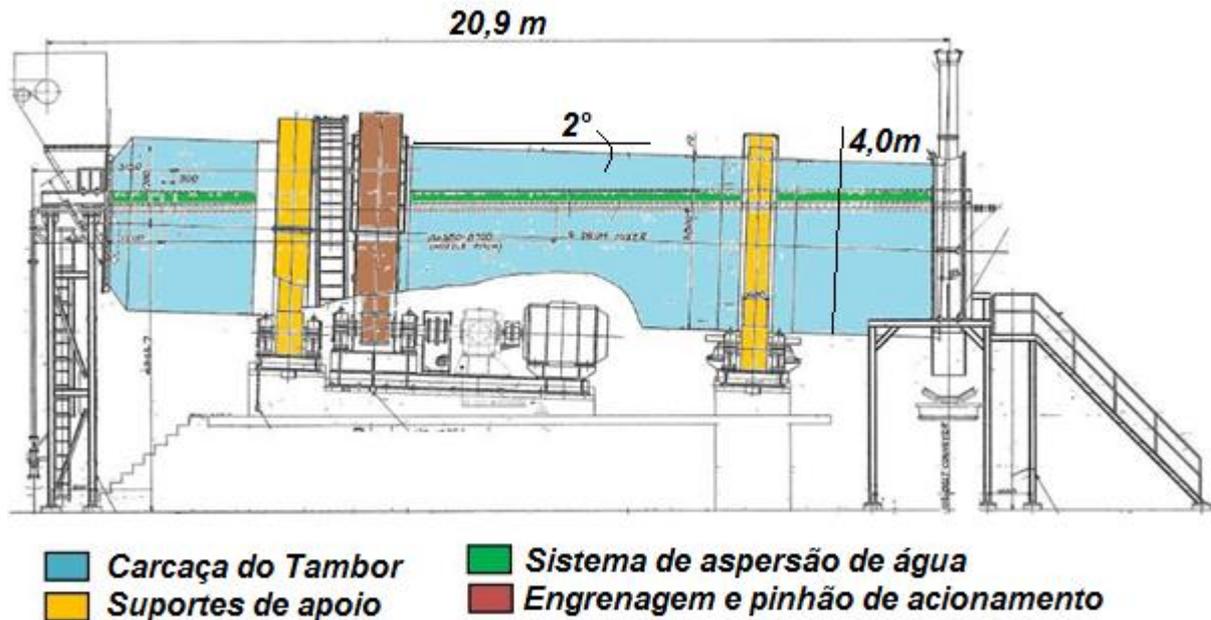


Figura 2. Tambor Misturador (*drum mixer*) originalmente instalado em 1974.

No desenvolvimento de projeto de equipamentos para aglomeração a frio todas as considerações sobre as matérias primas e perfil de mistura devem ser observadas a fim de alcançar o tamanho dos grãos ideal para o processo de sinterização.

Os principais fatores de influência em relação ao equipamento de aglomeração são: comprimento, diâmetro, inclinação rotação, geometria interna e umidade. Tais fatores impactam no tempo de residência do material no interior do tambor misturador e estão diretamente relacionados com o tamanho dos grãos da mistura a sinterizar, proporcionado a adequada permeabilidade do leito de fusão na máquina de sinter.

Posterior à concepção do projeto e definição dos parâmetros do novo tambor misturador para atender às demandas do processo, a etapa de fabricação do equipamento requer avaliação em função das dimensões e tolerâncias necessárias para garantir o padrão de funcionamento com alto desempenho para o processo. Ademais, o planejamento de fabricação, oriundo da etapa de projeto, deve ter especial atenção no quesito da logística de transporte do equipamento da fábrica ao local de instalação, haja vista as dimensões consideráveis em termos de altura e largura total.

Máquinas para fabricação de equipamentos de grande porte e de tolerâncias restritas devem seguir altos padrões de inspeção e manutenção que garantem a qualidade final do produto. Todos esses fatores, combinados ao plano de fabricação, devem compor o roteiro das atividades desde a preparação às etapas de calandragem, soldagem, usinagem, acabamento e pintura. Além disso, os materiais utilizados na fabricação necessariamente devem seguir os critérios normativos e devem possuir os certificados de composição química, calibração e inspeção.

Considerando a fase de implantação em campo, diversos fatores merecem destaque quanto à execução de montagem: tempo necessário de montagem (parada da

planta de sinterização), peso total de movimentação de carga, segurança pessoal e qualidade de montagem.

No primeiro aspecto, o tempo necessário para execução das atividades deve ter em consideração o planejamento mínimo necessário frente ao impacto na produção de sinter para os altos-fornos, haja vista que para substituir o tambor misturador em questão é necessária a parada de duas máquinas de sinterização com capacidade total de projeto de 10.500 t/d.

Acerca do peso total a ser manuseado, as condições restritas de área, devido à interferência com os demais equipamentos da planta (projeto *brown field*), influenciam significativamente na seleção dos equipamentos de montagem. Dessa forma, o planejamento desenvolvido deve considerar a melhor configuração de distribuição de carga, capacidade das máquinas de baldeio, segurança na movimentação, custo e tempo de execução, além da qualidade de montagem em termos das tolerâncias dimensionais.

Complementar às etapas de projeto, fabricação e montagem, a performance do equipamento otimizado deve ser avaliada a fim de validar os ganhos definidos na concepção do projeto e garantir que os parâmetros de montagem e funcionamento estão dentro das referências normativas e dos padrões operacionais estabelecidos para o processo de aglomeração e sinterização.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

2.1.1 Projeto do novo tambor misturador

Entende-se por poder de aglomeração a frio dos minérios, a capacidade que eles têm de formar micropelotas ou grânulos quando providos de certa umidade e são submetidos às etapas de mistura e micropelotização. Essas etapas são totalmente influenciadas pelo perfil do movimento no interior do tambor misturador, que por sua vez está diretamente relacionado à configuração do equipamento. A figura 3 representa os perfis de mistura no interior do misturador em relação ao Fator de Espaço e Número de Froude, sendo o efeito Cascata o ideal [1].

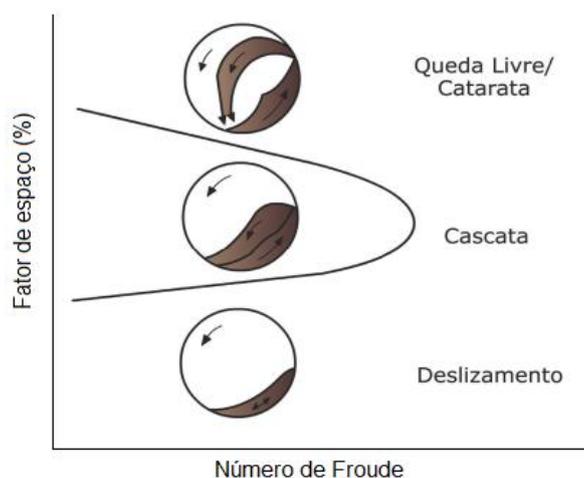


Figura 3. Perfis de mistura em função do Fator de Espaço pelo Número de Froude.

O fenômeno de micropelotização é caracterizado pela formação e crescimento de novas partículas devido à adesão das partículas primárias. Dependendo das propriedades do minério e do tempo de mistura, o índice de granulação varia formando partículas de tamanhos diversificados [2]. A figura 4 ilustra o índice de granulação em função do tempo de residência do material no misturador para diferentes tipos de minério.

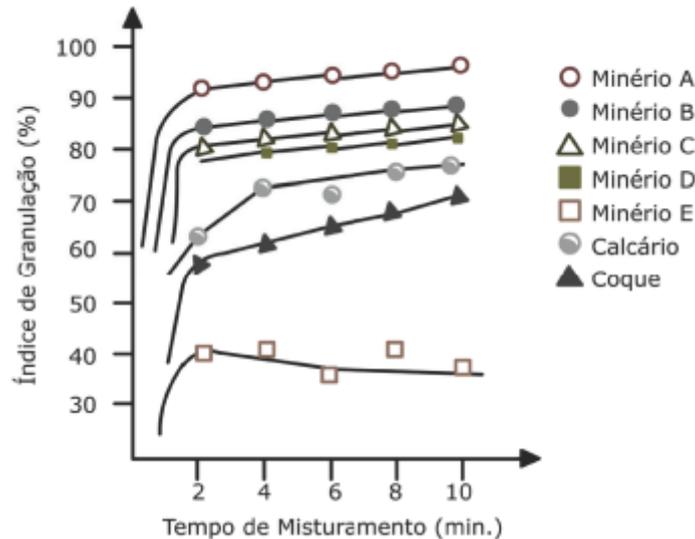


Figura 4. Poder de aglomeração a frio em função do tempo de mistura (residência).

Com intuito de alcançar a maior eficiência do novo equipamento, o projeto foi desenvolvido para que o perfil de mistura estivesse dentro da curva do efeito “cascata” (figura 3) e para que o tempo de residência (mistura) fosse o maior possível. As equações 1 e 2 respaldam, respectivamente, as variáveis de projeto: Número de Froude (N_{FR}), e Tempo de Residência (T) [1].

$$N_{FR} = D \times N^2 / g \quad (1)$$

$$T = (L \sin \theta) / (\pi \times D \times N \times \emptyset) \quad (2)$$

Onde,

D: diâmetro interno do tambor misturador (m)

N: rotação de trabalho (rpm)

g: gravidade (m/s^2)

L: comprimento (m)

θ : ângulo de repouso da matéria prima (graus)

\emptyset : inclinação do tambor misturador em relação aos apoios (%)

Após a definição da configuração do novo tambor misturador, foram gerados modelos contemplando as dimensões mais favoráveis ao processo e obedecendo-se às restrições de campo para minimizar as intervenções nos equipamentos

existentes. As dimensões principais do novo tambor misturador são: comprimento 18m, diâmetro interno 4m e inclinação de 1,5°. Para a geração dos modelos foi utilizado o Software 3D CAD NX® [3]. A figura 5 ilustra o conceito do novo tambor misturador.

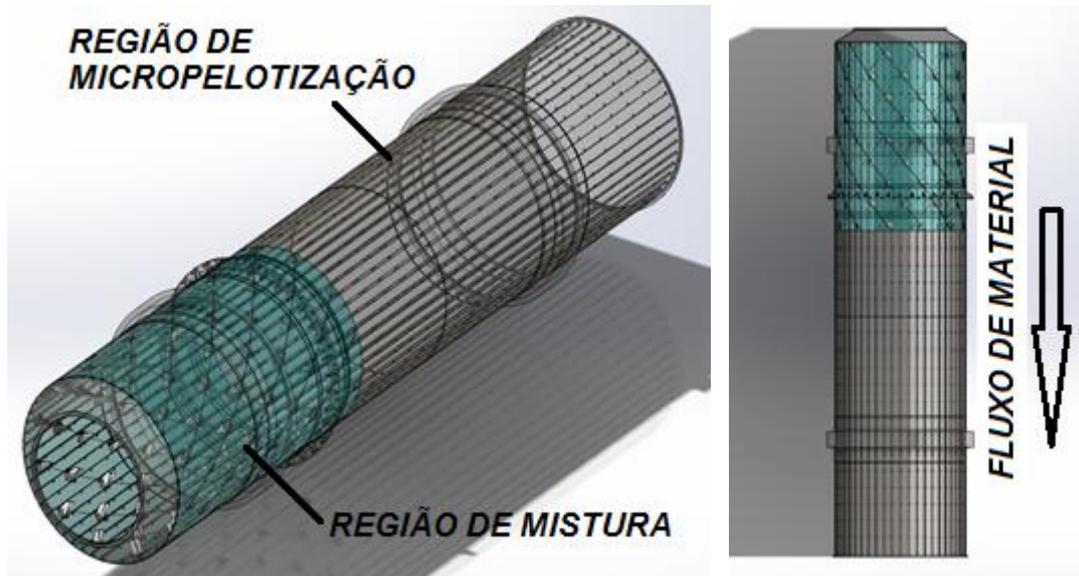


Figura 5. Modelo do novo tambor misturador com ênfase às partes de mistura e micropelotização.

De posse de todos os critérios de projeto, a efetividade de aglomeração do tambor misturador deve ter como referência o comparativo entre o índice de granulação de amostras coletadas na entrada e na saída do tambor misturador.

No ensaio de granulação (GI – *Granulation Index*) determina-se o percentual da mistura menor que 0,25 mm e 0,50 mm que ficaram aderidas aos agregados. Além disso, é possível avaliar a constituição granulométrica dos agregados formados [4].

Os índices de granulação $GI_{-0,25}$ e $GI_{-0,5}$ são calculados a partir das fórmulas mostradas nas equações 3 e 4, respectivamente.

$$GI_{-0,25} = \frac{b}{a+b} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

- a: fração granulométrica menor que 0,25 mm não aderida aos agregados, em massa
- b: fração granulométrica menor que 0,25 mm aderida aos agregados, em massa

$$GI_{-0,5} = \frac{c-e}{c} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

- c: fração granulométrica menor que 0,5mm das partículas primárias (partículas da mistura retidas nas faixas do peneiramento), em %
- e: fração granulométrica menor que 0,5mm dos agregados, em %

2.1.2 Fabricação do novo tambor misturador

Na etapa de fabricação do tambor misturador, instruções técnicas de execução são cruciais para garantir os requisitos dimensionais e diretrizes da qualidade. Todo o processo de soldagem seguiu as instruções da AWS (*American Welding Society*) e do IIW (*International Institute of Welding*). Quanto à etapa de usinagem do costado em conjunto com as pistas de rolamento, utilizou-se um torno horizontal tipo Estrela com dois carros de usinagem. A tabela 1 apresenta as especificações do torno utilizado para a usinagem do conjunto.

Tabela 1. Especificações técnicas do torno estrela utilizado na fabricação do tambor

	Valor	Unidade
Distância máx entre pontos	19.000	mm
Distância mín. entre pontos	3.000	mm
Diâmetro máx. torneável	6.450	mm
Diâmetro mínimo torneável	1.420	mm
Diâmetro da placa	6.400	mm
Curso carro longitudinal	1.000	mm
Capacidade de carga entre pontos	150	t

A consideração em praticar a usinagem do conjunto tem intuito de garantir que as principais tolerâncias sejam respeitadas, entre elas: paralelismo, concentricidade, batimento, planicidade, ovalização e excentricidade [5]. A figura 6 ilustra a metodologia de fabricação desenvolvida com ênfase às etapas inicial e final do processo, antes da usinagem.

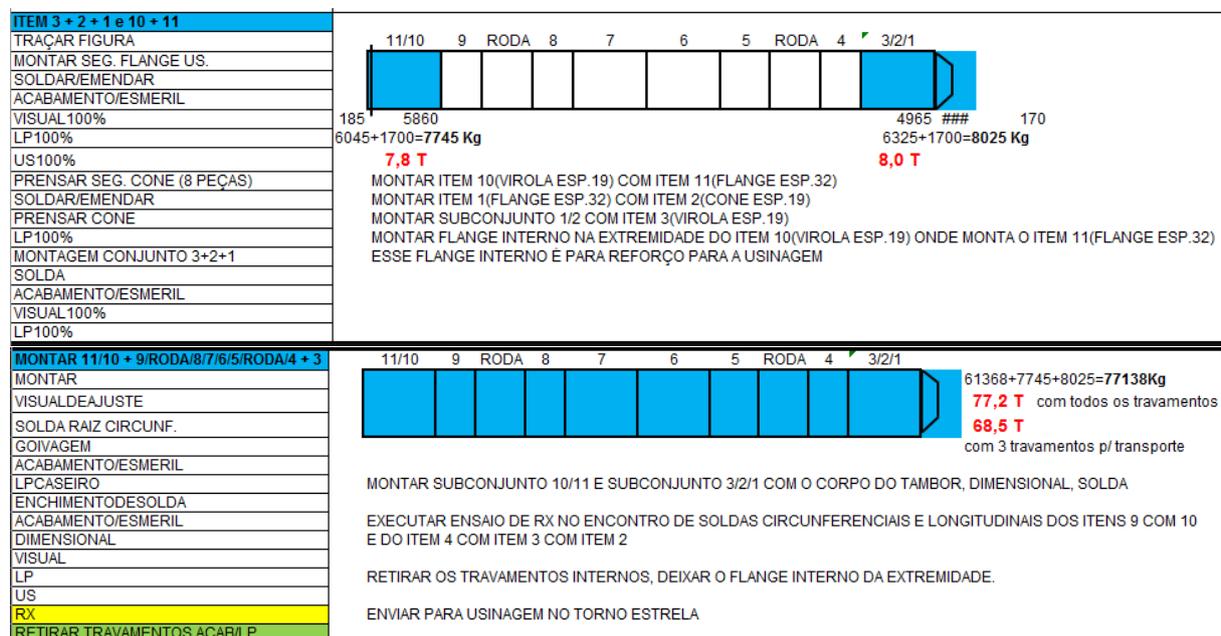


Figura 6. Metodologia de fabricação do novo *drum mixer*.

2.1.3 Montagem do novo tambor

O planejamento e a metodologia de montagem do novo equipamento foram desenvolvidos considerando o prazo previsto de 197 horas entre os dias 02/12/2018 e 11/12/2018 em três jornadas de trabalho: 7h às 15h, 15h às 23 e 23h às 7h. O

* Contribuição técnica ao 49º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 7º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

efetivo distribuído para execução de toda a montagem incluindo ajuste e testes foi de 100 trabalhadores por dia.

Para o transporte dos tambores misturadores (original e novo) foi utilizada uma carreta tipo “linha de eixo” com capacidade total de 128 toneladas e com ajuste de altura para proporcionar a passagem em locais de altura restrita à 6,0m (altura total somada linha de eixo, suportes e tambor próprio). Na figura 7 é representado o tambor misturador na posição de transporte.

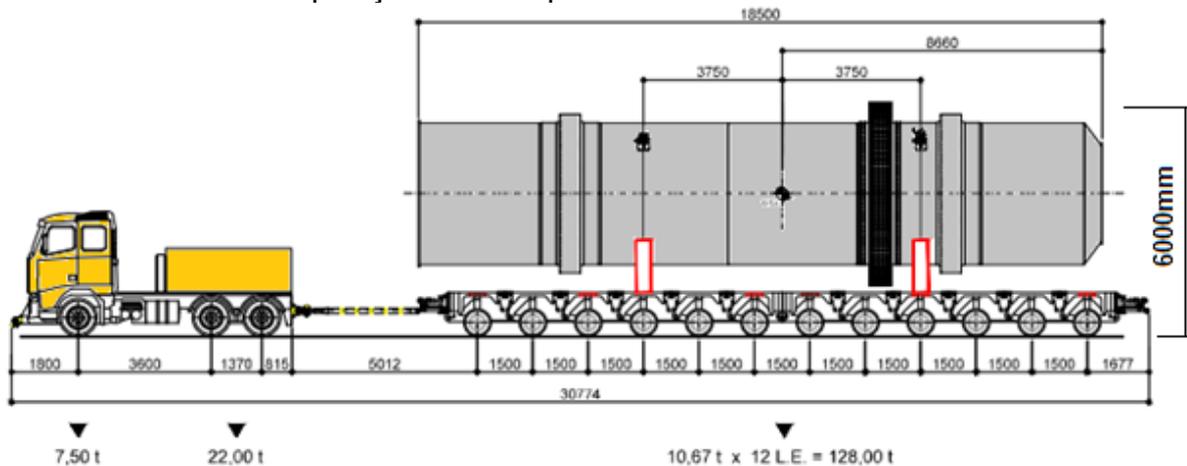


Figura 7. Plano de transporte do tambor misturador. Dimensões em mm.

Quanto à movimentação do tambor misturador entre a linha de eixo à posição de trabalho, foi desenvolvido um plano de Rigging considerando utilização de dois guindastes ancorados às extremidades do tambor misturador [6]. A figura 8 ilustra o plano de movimentação dos tambores misturadores considerando o local de instalação e as interferências ao entorno representadas pelos blocos.

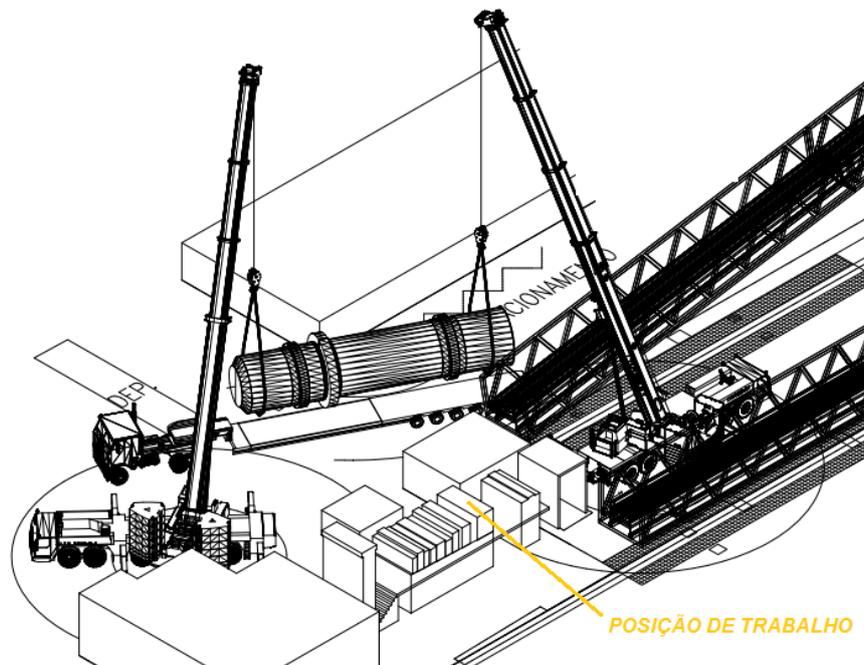


Figura 8. Plano de movimentação dos tambores com utilização de dois guindastes.

A configuração de carga dos guindastes na condição de trabalho relacionando altura, raio de giro e peso é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Configuração de trabalho dos guindastes

	GUINDASTE 1	GUINDASTE 2
Capacidade nominal (t)	350	300
Base de apoio (m)	8,93 x 8,53	8,86 x 8,5
Contrapeso (t)	120	112,5
Comprimento de lança (m)	30,1	30,5
Peso do moitão (t)	1,0	1,45
Capacidade do moitão (t)	80	107,7
Capacidade por perna de cabo (t)	12,2	11,7

2.2 Resultados e Discussão

2.2.1 Projeto do novo tambor

Considerando os critérios de projeto estabelecidos para a configuração dimensional, o Número de Froude (N_{FR}) foi de 5,28 com o tempo de residência de 4,72min. Nessa condição, a verificação da eficiência do tambor misturador em termos de poder de aglomeração foi realizada através da coleta de matérias primas na entrada e saída do misturador.

A base de comparação para verificar o provável incremento de granulação foi o teste de GI ainda com o tambor misturador original. Em seguida, após a instalação do novo tambor, foi realizado novo teste para proporcionar a validação do projeto desenvolvido. A tabela 3 apresenta os resultados de granulação obtidos.

Tabela 3. Comparativo entre a média dos índices de granulação

	TAMBOR ORIGINAL	NOVO TAMBOR
$GI_{0,25}$ (%)	85,02	87,75
$GI_{0,5}$ (%)	71,8	72,67

Frente aos resultados de granulação obtidos, observa-se que os valores do índice de granulação foram sensivelmente melhores em relação ao tambor original substituído.

2.2.2 Fabricação do novo tambor

A partir das tolerâncias de fabricação estabelecidas em projeto, a fabricação do tambor misturador apresentou resultados de desvios dentro dos critérios de projeto. A figura 9 ilustra os dados dimensionais de projeto e pós-fabricação.

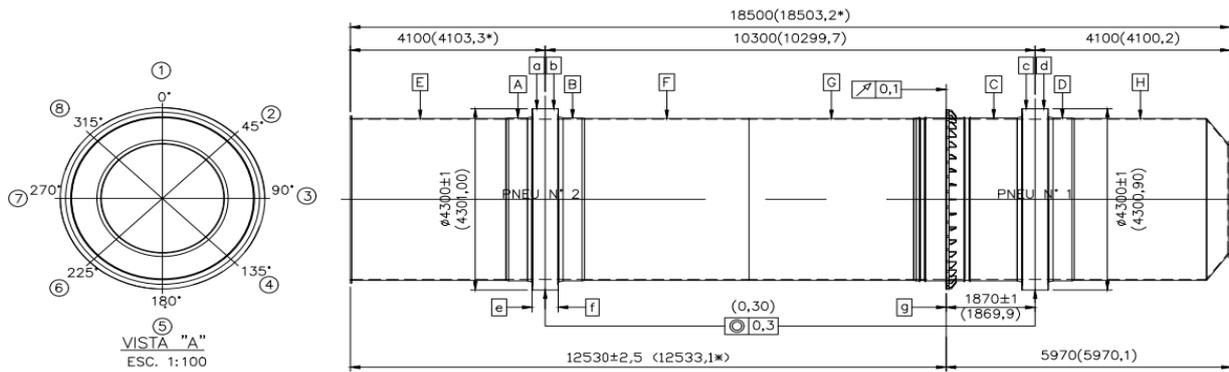


Figura 9. Tolerâncias dimensionais de projeto e pós-fabricação do novo tambor.

2.2.3 Montagem do novo tambor

Para validar a montagem do novo tambor misturador, todas as tolerâncias foram verificadas em relação aos critérios estabelecidos em projeto. A figura 10 mostra o posicionamento do novo tambor misturador considerando os valores de projeto (P) e os valores reais (R) obtidos em campo após a montagem.

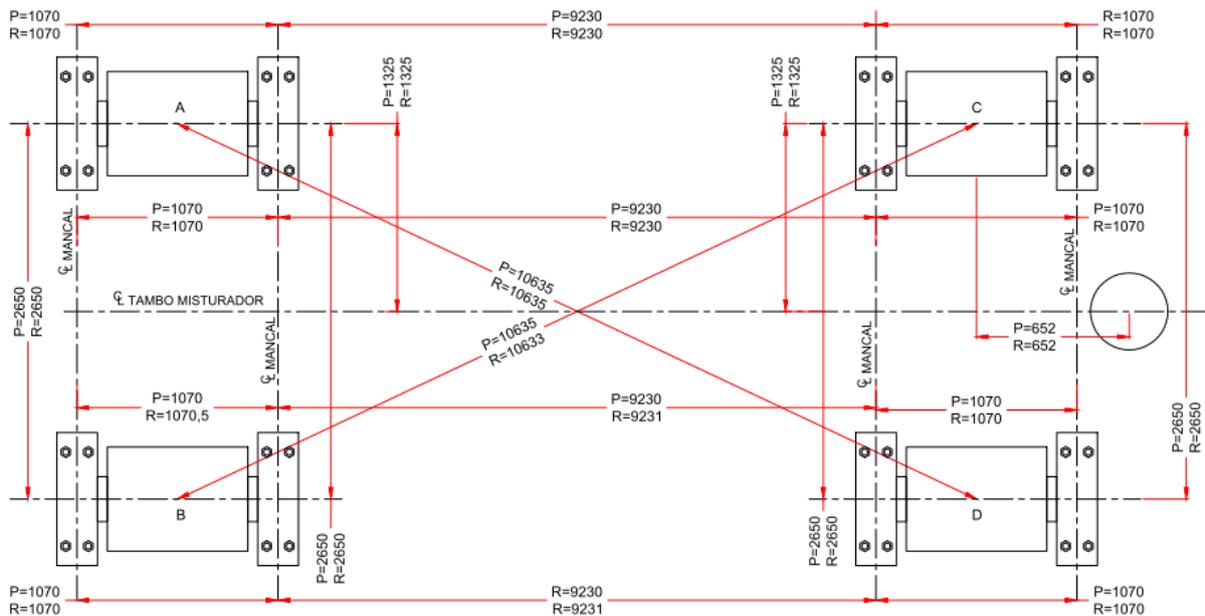


Figura 10. Vista em planta com as tolerâncias de montagem: projeto (P) e reais pós-montagem (R).

Observa-se, portanto, que os critérios de posicionamento de projeto foram devidamente respeitados na montagem do novo tambor.

O ajuste de espaçamento (*backlash*) e os pontos de contato entre a engrenagem principal e o pinhão de acionamento foram verificados conforme projeto. Tanto o *backlash* quanto o contato medido pela zona térmica de calor de trabalho, apresentaram resultados dentro dos parâmetros estabelecidos. A figura 11 apresenta o *backlash* médio e a termografia do contato engrenagem-pinhão.

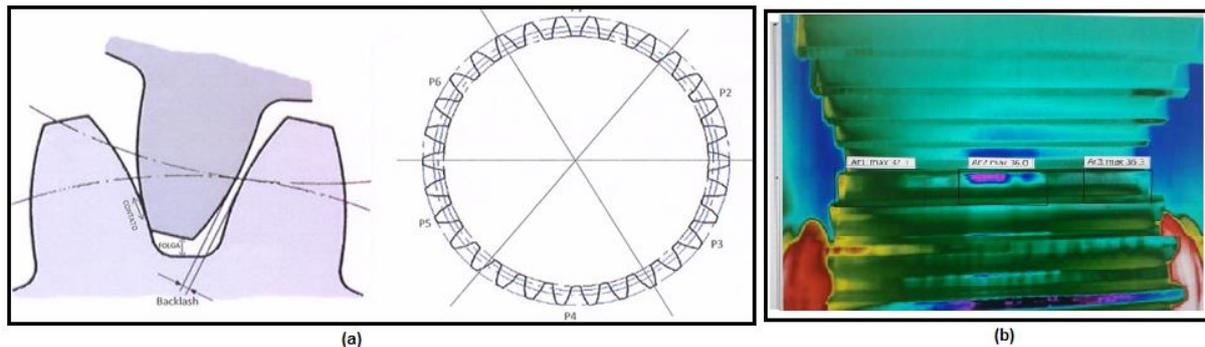


Figura 11. Contato engrenagem-pinhão. (a) *Backlash*: Projeto $1,5 \pm 0,3\text{mm}$; Real 1,45 a 1,73mm. (b) temperatura contato: Projeto $40 \pm 10^\circ\text{C}$; Real 36,3 a 42°C .

2.2.4 Parâmetros de vibração

Durante o teste e formação de caixa de pedra (proteção da carcaça através da compactação de minério) do novo tambor foram feitas medições de vibrações a fim de comparar com os critérios normativos e com o tambor misturador original antes da desmontagem. A figura 12 mostra os valores das velocidades de vibração em relação aos mancais de rolamento dos rolos de apoio dos tambores original e novo.

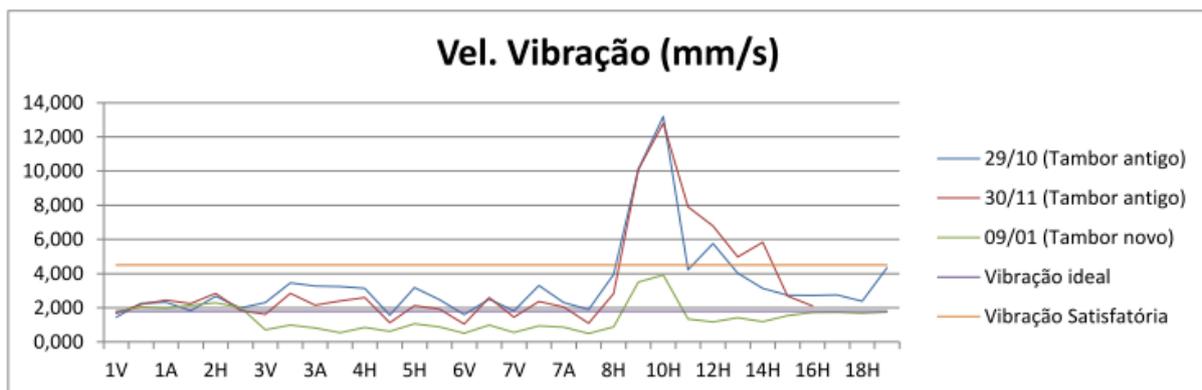


Figura 12. Velocidade de vibração em função dos mancais de apoio.

Quando comparadas as velocidades de vibração, portanto, observa-se que os valores obtidos para o novo tambor em funcionamento são mais satisfatórios em relação ao tambor original e estão dentro da faixa de tolerância normativa [7].

3 CONCLUSÃO

O *revamp* do *drum mixer* das máquinas de sinter 1 e 2 da Usiminas foi desenvolvido com referência às melhores práticas de engenharia e projetos de equipamentos robustos utilizados no processo de aglomeração a frio. Os principais critérios normativos considerados em projeto, fabricação e montagem foram devidamente atendidos e os valores totalmente satisfatórios para o alto desempenho do processo.

Os resultados obtidos nos testes de granulação mostraram um aumento no percentual comparativo entre o tambor original e o novo tambor. Os grânulos formados apresentaram maior tamanho em relação aos observados no *drum mixer* substituído, validando o projeto desenvolvido e favorecendo o processo de

sinterização ao proporcionar maior permeabilidade no leito de fusão das máquinas de sinter.

A fabricação do novo equipamento e a execução de montagem e campo seguiram critérios rigorosos de tolerância e apresentaram resultados dentro das faixas aceitáveis de desvio.

Agradecimentos

Este projeto foi desenvolvido com o essencial apoio das empresas Outotec, Usiminas Mecânica, Real Guindastes e MegaTranz, as quais se agradecem por ter disponibilizado todos os recursos necessários para alcançar os objetivos estabelecidos e os resultados de excelência obtidos.

REFERÊNCIAS

- 1 SATOH, K. Preparation of Raw Materials Centering around the Improvement of Quasi-particles. Flotation. 1981: 99-103.
- 2 VENKATARAMANA R.; KAPUR P. C.; GUPTA S. S. Modelling of granulation by a two-stage auto-layering mechanism in continuous industrial drums. Chemical Engineering Science. 2002.
- 3 NX 9.0, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc, 2013.
- 4 PILAGPR0012. Procedimento do Laboratório de Redução Setor Aglomeração. Composição Granulométrica Real das Micro-Pelotas e Determinação dos Índices de Granulação de Misturas - GI. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Usiminas, 2017.
- 5 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8015:2011: Geometrical product specifications (GPS) -- Fundamentals -- Concepts, principles and rules.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14768:2015: Guindastes - Guindaste articulado hidráulico - Requisitos. Rio de Janeiro, Brasil, 2015.
- 7 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10816-1:1995: Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -- Part 1: General guidelines.