

# SISTEMA DE CARREGAMENTO TOPO SEM CONE UMA TECNOLOGIA COMPROVADA E INOVADORA<sup>1</sup>

Carlos Eduardo Almeida<sup>2</sup>

Mário Cunha<sup>3</sup>

André Oliveira<sup>4</sup>

Lionel Hausemer<sup>5</sup>

## Resumo

O sistema de carregamento Bell Less Top<sup>®</sup> foi aplicado pela primeira vez na Alemanha em 1972; ele se tornou uma tecnologia padrão para o carregamento de matérias-primas nos altos-fornos. Este trabalho descreve a evolução do Bell Less Top para qualquer tamanho de alto-forno, considerando as diferentes matérias-primas, as condições de processo e as restrições de custos nas siderúrgicas ao redor do Mundo. Um foco especial é dado na melhoria continua dos sistemas e seus usos combinados com o conhecimento do processo e de modelos matemáticos, incluindo uma descrição detalhada dos tipos alimentação central, compacto, mini e MIDI para dar suporte aos departamentos de investimento, operação e projetos em suas decisões, dando forma ao estado da arte para o sistema de carregamento.

**Palavras-chaves:** Alto-Forno; Sistema de carregamento; Distribuição de carga; Monitoramento; Interface de carregamento.

## THE BELL LESS TOP<sup>®</sup> CHARGING SYSTEM A PROVEN AND INNOVATIVE TECHNOLOGY

## Abstract

The Bell Less Top<sup>®</sup> Charging System had its first application in Germany in 1972; it became the commonly recognized international standard technology for charging burden material into blast furnaces. This paper describes the evolution of a complete product range of Bell Less Top Charging Solutions for any size of blast furnace, taking into account the different raw materials, process conditions and cost constraints of ironmaking plants around the World. Special focus is made on continuous improvement of the systems and their use in combination with process know-how and mathematical models, including a detail description of the central feed, compact, mini and MIDI types to support investment and project departments in their decisions, thus forming the state-of-the-art in blast furnace top charging.

**Key words:** Blast furnace; Charging system; Burden distribution; Condition monitoring; Burdening interface.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 16 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, MSc. Assistente de Marketing e Processos. Paul Wurth do Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, MBA. Assessor de Marketing e Processos. Paul Wurth do Brasil.

<sup>4</sup> Analista de Sistema. Assistente de Marketing e Processos. Paul Wurth do Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Mecânico. Engenheiro de Projetos. Paul Wurth Luxemburgo.

## 1 INTRODUÇÃO

A redução dos minérios de ferro através de altos-fornos tem evoluído em relação ao processo e aos equipamentos. O exemplo que trataremos nesse trabalho é relativo aos métodos de carregamento, onde passamos de carregamentos manuais para sistemas de duplo-cone até o desenvolvimento do topo sem cone, tecnologia da Paul Wurth.

A partir da década de 1950 houve uma explosão no consumo de aço, acompanhada pela produção, dando início ao crescimento no tamanho dos altos-fornos e nas suas produtividades. Tal desenvolvimento levou a uma revolução no sistema de carregamento, atendendo aos requisitos de selagem para elevadas pressões, manutenção fácil e distribuição de carga precisa.

A invenção do topo sem cone atendeu a todos esses requisitos, o que explica seu sucesso no mercado seguido por sua comercialização mundial rápida. Com isso, provou-se a universalidade desse novo sistema de carregamento, o qual nós apresentaremos um pouco da sua evolução.

## 2 DESENVOLVIMENTO CONTÍNUO

### 2.1 A Família de Sistemas de Carregamento Topo Sem Cone (TSC)

O primeiro TSC desenvolvido foi o tipo caracterizado por dois silos paralelos. Essa configuração se tornou o padrão para aplicação em novos altos-fornos grandes (anos 1970 e 1980). Alguns sistemas com três silos foram instalados nessa época, principalmente no Japão.<sup>(1)</sup>

A partir de então, a Paul Wurth desenvolveu novas soluções também catalisadas pelas restrições tecnológicas e de custos de seus clientes, onde se salienta:

- desenvolvimento do TSC de alimentação central com um único silo (o primeiro foi instalado em meados da década de 1980);
- primeira aplicação do TSC de alimentação central compacto em 1996;
- a partir de 2000, pequenos altos-fornos começam a ser equipados com o mini TSC; e
- a partir de 2008 o TSC tipo MIDI está disponível no mercado.

Todos esses sistemas seguem o princípio básico da distribuição de carga nos altos-fornos com o fluxo de uma batelada de matéria-prima sendo distribuído por um chute que gira e bascula, permitindo ao operador colocar cada material onde definir como ponto ótimo.

Com essa família de TSC, todos os tipos de altos-fornos poderão ser equipados com a melhor tecnologia disponível para carregamento de topo. Nos tópicos seguintes abordaremos algumas características de cada tipo.

## 2.2 TSC – Silos Paralelos

O primeiro TSC fornecido em 1971 foi instalado no alto-forno #4 da *August-Thyssen-Hütte*, na Alemanha, o qual faz parte da planta TKS em *Duisburg-Hamborn* atualmente. Esse sistema piloto industrial foi comissionado em janeiro de 1972.

Todos os componentes do sistema passaram por desenvolvimentos ao longo dos últimos anos:

- a calha basculante de distribuição substituiu o funil móvel no topo dos silos de material;
- sedes e tampas de válvulas, acionamentos e todos os itens de revestimento de desgaste foram continuamente melhorados; e
- simultaneamente, a garantia de intercambiabilidade entre todos os componentes ao longo do ciclo de vida do sistema mecânico foi mantida.

Na década de 1990 o TSC foi redesenhado com algumas melhorias, originando a segunda geração de TSC, com dois ou três silos (Figura 1). Tais melhorias combinaram a flexibilidade dos silos múltiplos com a vantagem do TSC de alimentação central, assegurando uma perfeita centralização do material na saída do silo. Para tanto, as aberturas das saídas dos silos foram aproximadas para a linha de centro do alto-forno, minimizando o efeito da excentricidade dos anéis na distribuição da carga. Com isso, melhorou-se a forma circular dos anéis, independente do silo usado para a descarga. O novo posicionamento e geometria dos silos geram um fluxo de material durante a descarga que resulta numa menor segregação granulométrica do material.

O TSC de três silos tem uma maior capacidade de carregamento, o que resulta numa significativa redução do tempo entre bateladas na área de preparação de matérias-primas. O aumento efetivo do tempo de carregamento do alto-forno também assegura uma maior taxa de recuperação (*catch-up rate*). Ciclos e padrões de carregamento mais complexos (pequenas bateladas, maior número de revoluções do chute) podem ser executados, especialmente se a diversidade de matérias-primas é ampla. Outra vantagem é que a produção nominal pode ser alcançada com um silo fora de serviço. Em termos da operação do alto-forno é importante mencionar que independente de operar com dois ou três silos somente o uso de um padrão de carregamento ótimo assegurará elevada eficiência do processo.

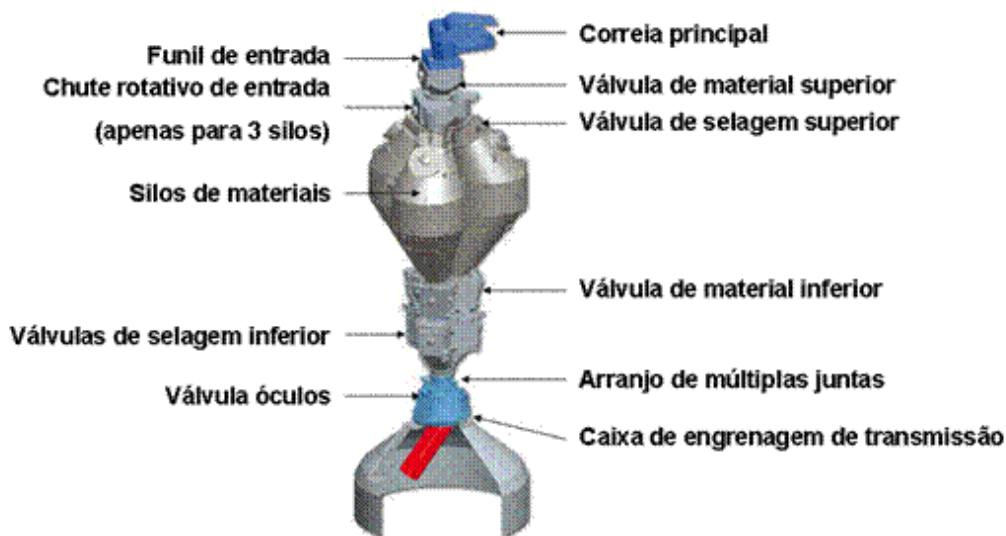


Figure 1. TSC de 2ª geração com três silos.<sup>(2)</sup>

Os chutes de distribuição para os TSC de segunda geração foram projetados permitindo a melhoria do carregamento central de coque através do desenvolvimento de um novo perfil da ponta.

A carcaça da válvula de material e a carcaça da válvula selo inferior são unidades separadas com portas de inspeção maiores. Essas unidades podem ser removidas separadamente do conjunto para melhoria do acesso durante manutenção e inspeção.

Finalmente, o sistema de pesagem de materiais, uma combinação de células de carga e molas, foi trocado por um novo projeto usando barras de pesagem. Como as molas não são necessárias, pontos potenciais de atrito foram eliminados, melhorando a precisão e a confiabilidade do sistema de pesagem.

Hoje, o estado da arte para o sistema TSC está no mais recente desenvolvimento da 3ª geração da caixa de engrenagens (Figura 2). Combinando ferramentas de CAD e FEA com seus mais de 40 anos de experiência, a Paul Wurth avançou mais nesse desenvolvimento:

- alcançou a mais elevada disponibilidade e segurança;
- extensão da vida útil;
- maior resistência às temperaturas do gás de topo e da atmosfera com pó;
- aumento da vazão de descarga de material e do comprimento do chute;
- prevenção da contaminação da água de refrigeração; e
- intervalos maiores entre manutenções.



**Figure 2.** Caixa de engrenagens da 3ª geração.

O primeiro TSC de 3ª geração foi comissionado em outubro de 2010 no alto-forno #5 da Rogesa, na Alemanha.

A planetária foi separada em duas novas unidades, uma de acionamento da rotação e outra da inclinação, projetadas para atender a maiores cargas, resultantes da combinação de um maior fluxo máximo de material, uma maior velocidade de rotação e um chute de distribuição mais longo, características dessa nova geração.

O aumento da velocidade de rotação do chute permite um maior número de revoluções por batelada, melhorando a uniformidade circunferencial. Se necessário, a nova unidade de acionamento permite que a carga seja descarregada numa trajetória espiral pelo movimento contínuo da rotação e da inclinação variável ao mesmo tempo. Adicionalmente, uma maior uniformidade circunferencial e flexibilidade na distribuição da carga são obtidas.

O chute de distribuição agora é fechado, permitindo uma maior vazão de material e a eliminação do espalhamento do material, além de um fluxo mais compacto e uma carga de coque central mais precisa.

O novo sistema de refrigeração por água está dividido em dois circuitos independentes. O primeiro é um circuito fechado pressurizado para a refrigeração das partes móveis, evitando qualquer contaminação da água por poeira do gás de topo do alto-forno. O tanque reserva não é mais necessário por ser circuito fechado e a refrigeração emergencial é feita por nitrogênio. O segundo circuito de refrigeração é destinado às partes fixas da caixa e conectado diretamente ao circuito de refrigeração do alto-forno, também sem contato com o gás do topo. A redução da área superficial da parte rotativa exposta à atmosfera do alto-forno e os dois circuitos de refrigeração resultaram numa unidade de maior resistência à temperatura do gás de topo.

Uma revisão do sistema de lubrificação também ocorreu, onde pontos adicionais de lubrificação foram instalados. Agora, a lubrificação ocorre também durante a movimentação do chute e tanques maiores de graxa estão disponíveis. Com isso, os intervalos entre manutenções serão estendidos e a confiabilidade e vida útil do equipamento será maior.

O conceito de intercambiabilidade com as caixas de engrenagem anteriores foi mantido e o flange superior não requer mais uma usinagem precisa, facilitando a montagem. As portas de acesso ficaram maiores, facilitando as inspeções e as condições de monitoramento foram favorecidas.

### **2.3 TSC – Carregamento Central**

Esse sistema foi desenvolvido nos anos 1980 para altos-fornos de pequeno e médio tamanho. Comparado com a 1ª geração de silos paralelos ele tem:

- melhor controle sobre a segregação;
- maior precisão do fluxo central; e
- nenhuma excentricidade da distribuição de carga.

Esse modelo ajusta-se a altos-fornos com volume de trabalho entre 1.500 m<sup>3</sup> e 2.800 m<sup>3</sup> com uma produção diária de gusa até 7.500 toneladas. Ainda assim, aplicações com sucesso em altos-fornos maiores e de maior produção também são reportados.

O TSC com alimentação central é um investimento alternativo, dentro de seus limites de capacidade. Suas aplicações ocorrem com sucesso em novos altos-fornos (um exemplo é a alto-forno B da AMM) e na modernização de altos-fornos existentes.

## 2.4 TSC – Compacto

O TSC compacto foi especialmente concebido para a modernização de altos-fornos existentes, apresentando:

- espaço reduzido na estrutura do topo do alto-forno;
- sem a possibilidade de uma porta de desmontagem da calha de distribuição no cone do topo; e
- um tempo limitado para a instalação do sistema.

O projeto do sistema limita o trabalho de modificação na estrutura do topo existente. Uma tecnologia de pré-montagem permite a redução da duração da parada do alto-forno necessária para sua instalação. Finalmente, a calha de distribuição pode ser removida e trocada através da carcaça da caixa de engrenagem.

O 1º TSC compacto foi instalado em 1996, no já existente alto-forno #2 da RUUKI (1.118 m<sup>3</sup> de volume de trabalho). Naquela época o tempo necessário de parada do alto-forno foi de 14 dias. Já em 2010, o alto-forno #1 da mesma planta também foi equipado com o mesmo sistema. Nessa instalação, incluindo o comissionamento, os trabalhos levaram 12 dias consecutivos.

O TSC compacto é uma opção que melhor se adapta para altos-fornos de até 1.500 m<sup>3</sup> de volume de trabalho.

## 2.5 TSC – MINI

O tipo MINI, disponibilizado no mercado a partir de 2000, comprovou o desempenho dos TSC para pequenos altos-fornos, tipicamente com volumes de trabalho entre 350 m<sup>3</sup> e 1.000 m<sup>3</sup> e usando uma calha de distribuição de até 2,5 m de comprimento. Algumas características mecânicas foram simplificadas no projeto, mas preservando-se a comprovada confiabilidade do TSC, com uma operação livre de problemas e de fácil manutenção.<sup>(3)</sup>

Esse sistema se ajusta bem onde restrições orçamentárias dos pequenos altos-fornos prevalecem. O sucesso do TSC MINI e seu excelente custo-benefício podem ser observados nas diversas instalações existentes na China e em outros mercados.

## 2.6 TSC – MIDI

O tipo MIDI é o mais novo integrante da família Paul Wurth de TSC. Foi desenvolvido para preencher qualquer lacuna entre os tipos de carregamento central e silos paralelos e aplicações de compactos e MINI. Esse sistema se ajusta em altos-fornos entre 1.100 m<sup>3</sup> e 2.000 m<sup>3</sup> de volume de trabalho, especialmente para substituir os sistemas de cones existentes em altos-fornos. O primeiro MIDI foi fabricado, testado e entregue em 2008. Novos projetos se concentram na Rússia, Ucrânia e Índia.

## 3 UMA SOLUÇÃO COMPLETA REPRESENTANDO UMA TECNOLOGIA DE CARREGAMENTO

O TSC não é simplesmente uma montagem de componentes mecânicos. Ele também oferece subsistemas e uma variedade de ferramentas tecnológicas para suportar o operador, otimizando o controle de processo, através da melhoria da distribuição de carga. A seguir, faremos uma abordagem de algumas dessas ferramentas e seus benefícios.

### 3.1 Subsistemas e Equipamentos Auxiliares

Os subsistemas que normalmente acompanham um TSC são:

- arranjo estrutural;
- sistema de refrigeração;
- sistema hidráulico;
- sistema de lubrificação centralizado;
- sistema de equalização de pressão;
- sistema de pesagem de material dos silos;
- acionamentos elétricos;
- nível 1 de automação e sistema de controle para os operadores do alto-forno na sala de controle; e
- seqüências de manutenção.

Adicionalmente são indicadas as peças sobressalentes necessárias para o comissionamento, baseadas nas experiências ao redor do mundo.

Os desenvolvimentos mais recentes do TSC são:

- melhoria da refrigeração da caixa de engrenagens – essa unidade é o elemento central da função de distribuição do material. É naturalmente o componente mais exposto à atmosfera agressiva dos altos-fornos. A melhoria tecnológica diretamente endereça um sério desafio à vida útil do equipamento, resultado da elevação da permeabilidade central e das temperaturas do gás de alto-forno;
- sistema de monitoramento de condições (opcional) – essa ferramenta é uma combinação de sensores e softwares ajudando a monitorar o estado do equipamento, prevenindo falhas maiores, independentes do fator humano. É o resultado do esforço para aumentar a disponibilidade do equipamento e é baseado em experiências e testes de longo prazo. Esse sistema pode ser combinado com o suporte remoto feito pelos especialistas dos equipamentos Paul Wurth; e
- sistema de equalização de pressão – alinhado com as regulamentações ambientais mais exigentes e que apontam para as emissões zero e redução de ruídos, esse sistema ao invés de descarregar o gás de topo para a atmosfera, realiza a despressurização dos silos para dentro da linha principal de baixa pressão do gás limpo, após a planta de limpeza do gás de alto-forno.

O sistema de monitoramento das condições da caixa de engrenagens do TSC foi projetado como ferramenta para monitorar e verificar tendências de parâmetros relativos a um TSC e permitir uma detecção antecipada de anomalias e para uma prevenção de falhas (Figura 3). Alguns dos seus benefícios são:

- análise on-line e *off-line* das medições realizadas;
- Permite a previsão das manutenções preditivas;
- gera alarmes quando uma medição ultrapassa certo valor estabelecido;
- gera relatórios automáticos (diários, semanais ou mensais), com as anomalias ou falhas, guiando o usuário para a análise *off-line* dos arquivos correspondentes;
- aumento da confiabilidade do equipamento através da manutenção preditiva;
- informações formam um histórico do equipamento e podem ser acessadas remotamente de qualquer escritório dentro da usina; e
- um especialista da Paul Wurth pode dar assistência remotamente.

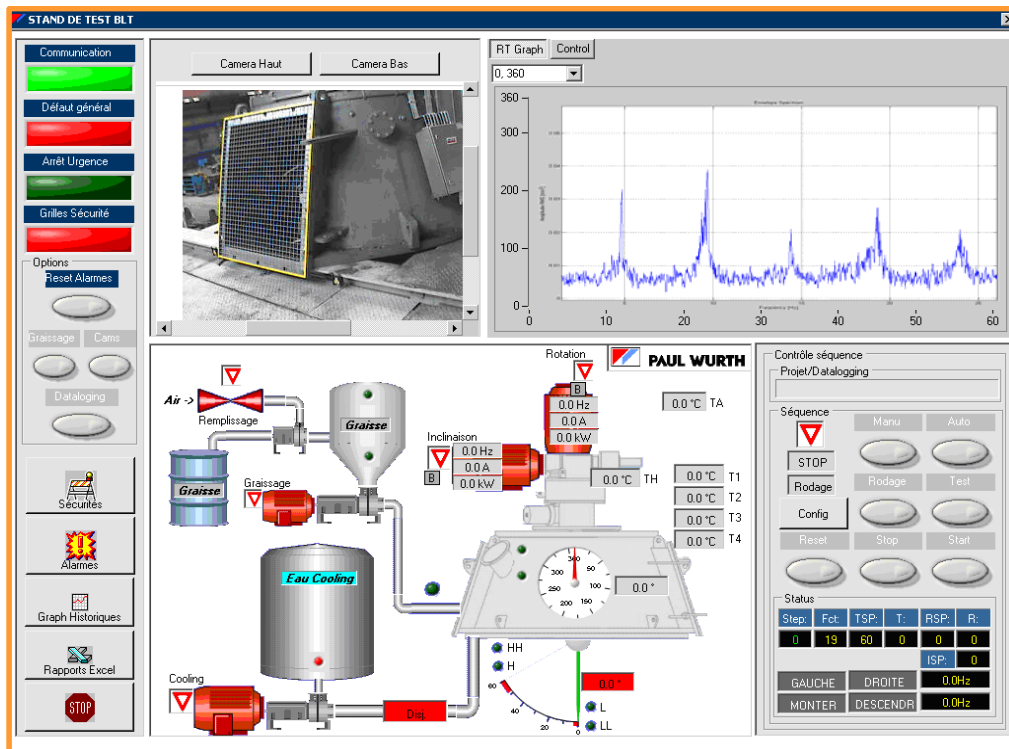


Figure 3. Sistema de monitoramento do TSC.

### 3.2 Suporte nas Técnicas de Carregamento para Operação Eficiente do Alto-Forno

O modelo de carregamento da Paul Wurth (Figura 4) é projetado para permitir a visualização do empilhamento e a distribuição das camadas dentro da coluna de carga do alto-forno usando um TSC.<sup>(4)</sup> Permite ao operador verificar possíveis efeitos de uma dada matriz de carregamento na distribuição da carga e inferir seus efeitos na distribuição do gás no alto-forno. Com essa ferramenta, o operador pode melhorar a matriz de carregamento, testando novos conceitos de forma segura. Essa ferramenta auxilia na avaliação de mudanças de comportamento do alto-forno antes de uma ação no processo real. Trabalha *off-line*, sem controle da operação do alto-forno. Esse modelo se adapta ao alto-forno, seu TSC e às características das matérias-primas. Os parâmetros para as trajetórias dos materiais são determinados em campo através da medição das trajetórias reais. Essas curvas reais de queda são medidas com o uso de sondas horizontais de impacto. Na ausência dessas medições, cálculos teóricos são usados, contudo, com menor precisão. Os resultados levam em consideração os seguintes efeitos físicos: gravidade, força centrífuga, efeitos Coriolís e fricção, que podem ser ajustados com coeficientes para conciliar com os pontos de impacto medidos. O modelo então irá gerar:

- uma seção transversal do alto-forno para visualização do empilhamento das camadas de materiais e suas espessuras através do raio do alto-forno;
- estimativa, baseada na relação Minério/Coque, da zona coesiva (localização e geometria) na cuba baixa do alto-forno;
- porosidade da camada de carga equivalente ao longo do raio do alto-forno;
- relação M./C. da camada de carga equivalente ao longo do raio do alto-forno;
- relação Coque/(coque+minério) da camada de carga equivalente ao longo do raio do alto-forno.



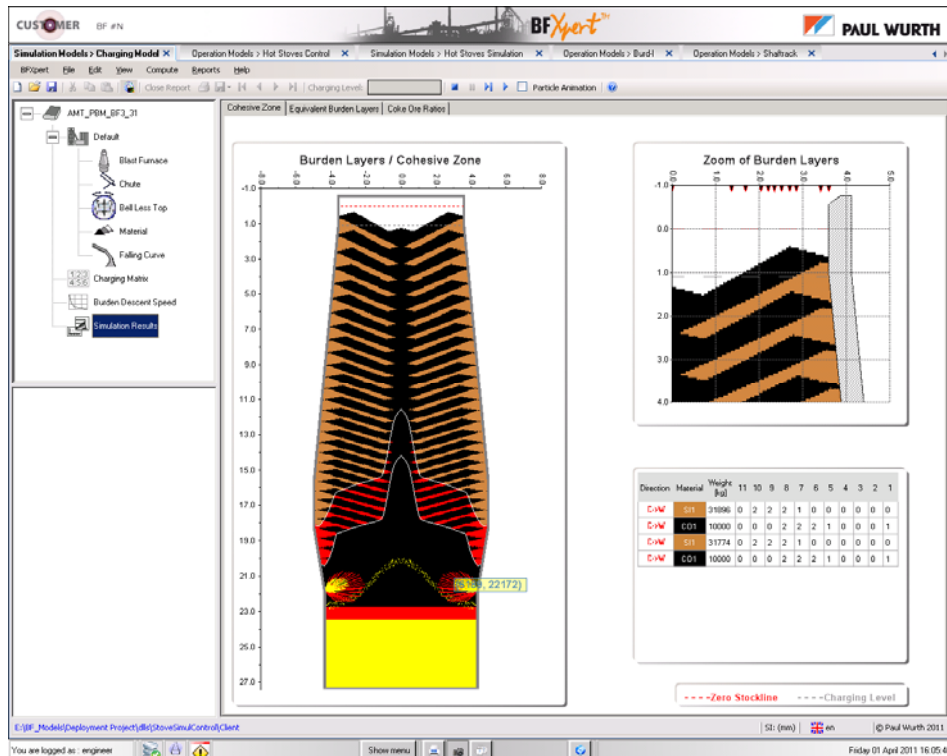


Figure 4. Modelo de carregamento da Paul Wurth.

Há também uma nova Interface de Carregamento com o modelo de cálculo de carga integrado (Figura 5), um aplicativo adequado para a formulação das “receitas”.<sup>(5)</sup> Uma “receita” é definida como uma composição em termos de matérias-primas, as bases de pesos correspondentes, taxas de injeção, posição do material na correia principal e matriz de carregamento. Esse aplicativo amigável e integrado cuida de todos os passos relativos ao carregamento. É caracterizado por:

- controle integrado do alto-forno, desde os silos de estocagem até a calha de distribuição;
- um único aplicativo usado em diferentes postos de controle, fácil e rápido de usar; e
- verificações de consistência automáticas reduzem os erros de carregamento.

Essa interface é opcional e pode completar o software do TSC, integrando a solução de nível 2 da Paul Wurth para a operação do alto-forno.

O modelo de distribuição de carga da Paul Wurth é um modelo discreto baseado em métodos celular-automata, utilizado para reproduzir o comportamento granular dos materiais. O resultado dos cálculos é uma visualização das camadas de material através da vista da seção transversal da cuba do alto-forno pelo uso de uma dada matriz de carregamento. A informação gerada ajuda os operadores a entender o carregamento da carga, encontrando matrizes de carregamento apropriadas e aumentando a eficiência do processo. Essa ferramenta provou ser especialmente eficiente quando adotada nos primeiros passos da operação após a instalação de um TSC.

O modelo leva em consideração a deformação parcial das camadas de coque pelo impacto do fluxo de material da carga metálica (efeito do empurramento do coque). A percolação dos finos dentro das camadas de coque e a segregação granulométrica durante a formação da camada também são parte do modelamento da porosidade da coluna de carga e da forma da zona coesiva.

É importante mencionar a ligação entre as ferramentas de modelamento e a realidade pela aplicação de instrumentos e dispositivos de armazenagem de dados de processo:

- o perfilômetro: entrando no alto-forno acima da carga e medindo o perfil da linha de carga. Permite conhecer o empilhamento da carga camada por camada, como visto pela sonda;
- sonda penetrante: é uma sonda resfriada por água que penetra na carga, medindo a resistência da carga ao longo do raio. Os resultados medidos são convertidos numa visualização de camadas predominantemente por coque ou carga metálica. A vantagem dessa sonda é a detecção das características da camada real após o empurramento do coque e a percolação; e
- sistema acústico de medição da temperatura do gás de topo: determina a distribuição verdadeira da temperatura do gás acima do nível da carga. Impressões em 2D das isoterms, após um ciclo completo de carregamento, mostram a evolução das chaminés de gás na coluna de carga. O sistema, livre de manutenção, informa leituras de temperatura instantâneas, sem interferência do processo de carregamento do alto-forno e sem influência da radiação.

Burden		Use	Type	Descr.	Rate kg/tHM dry	Fe tot %	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	MgO %	K2O %	Na2O %	S %	Zn %	Si %
2	Sinter	70.0 %	SH	Sinter	1108.05	58.00	9.25	5.52	1.13	1.13	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00
1	Sinter Fines	2.0 %	SF1	Sinter Fines	31.66	58.00	9.25	5.52	1.13	1.13	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00
1	Pellets	20.0 %	PE1	Pellets	316.69	65.70	2.65	5.00	0.65	0.05	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00
1	Ore	8.0 %	OR1	Ore	126.63	65.00	0.03	2.50	2.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
1	Limestone	CaO	LH	Limestone	0.00	0.00	56.50	0.76	0.38	1.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
1	Magnesite	MgO	MA1	Magnesite	24.48	0.00	38.70	0.69	0.00	43.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	Quartzite	SiO2	QZ1	Quartzite	31.97	0.63	0.01	97.70	0.29	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
					kg/tHM dry	kg Fe/tHM	kg Slag/tHM	kg Alkali/tHM	kg S/tHM	kg Zn/tHM					
					1639.38	951.55	284.76	0.62	0.16	0.29					
					100.0 %										

Reducing agents		Type	Descr.	Rate kg/tHM dry	S %	Ashes %	Fe tot %	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	MgO %	K2O %	Na2O %	Zn %	
2	Coke	CO1	Fresh coke	250.00	0.40	9.00	5.90	2.84	52.85	28.08	0.72	1.10	1.43	0.00	
1	Nut Coke	NC1	Nut Coke	40.00	0.40	9.00	5.90	2.84	52.85	28.08	0.72	1.1	1.43	0.00	
1	PCI	PCI1	PCI type 1	200.00	0.41	0.00	6.90	6.09	42.30	31.80	1.14	0.95	0.15	2.00	
TOTAL reducing burden				kg/tHM dry	kg Fe/tHM	kg Slag/tHM	kg Alkali/tHM	kg S/tHM	kg Zn/tHM						
				490.00	1.54	22.59	0.66	1.98	0.00						

Lost burden		Rate kg/tHM dry	Fe tot %	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	MgO %
Dust		10.00	28.60	4.20	6.20	2.00	1.50
Sludges		10.00	40.00	5.00	5.40	3.10	1.50
TOTAL lost not used		kg/tHM dry	Fe/tHM	Slag/tHM			
		20.00	6.86	2.96			

Hotmetal		Rate kg/tHM	Target kg/tHM	C %	Ti %	Mn %	Pb %	Zn %	V %	P %	S %	Si %
		943.24	943.24	4.77	0.00	0.38	0.00	0.01	0.00	0.06	0.05	0.41

Slag		Rate kg/tHM	Comp. %	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	MgO %	FeO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	MnO %
		235.51	97.61	41.67	39.69	8.25	8.00	1.30	0.22	0.29	0.00	0.00
		PbO	ZnO	V2O5	P	S						
		%	%	%	%	%						
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.58						
		B2	B3	B4								
		1.05	1.25	1.04								

Figure 5. Interface de carregamento da Paul Wurth.

Durante o comissionamento do TSC e no primeiro enchimento do alto-forno é prática comum realizar um programa de enchimento e medição de trajetória, o qual é estabelecido de antemão entre o cliente e a Paul Wurth. Esse suporte tecnológico durante o período de *blow-in* ajuda a estabelecer as trajetórias das cargas, a encontrar os ajustes apropriados do equipamento e a calibrar os parâmetros do modelo.

Consumo de agente redutor e taxa de substituição do combustível auxiliar podem ser determinados para diferentes condições de operação. Condições do ar quente, parâmetros de qualidade do coque e da carga metálica, bem como os objetivos de

qualidade do gusa, servem como fatores de correção nos cálculos. A partir disso é possível concluir sobre a produtividade do processo e as tendências de custo.

### 3.3 Universalidade

A invenção do TSC introduziu o conceito de substituição de cones por um sistema de carregamento de topo que proporciona uma combinação única de:

- solução dos problemas de selagem trabalhando em elevadas pressões;
- permitir o aumento da disponibilidade e produtividade dos altos-fornos; e
- entregar aos operadores dos altos-fornos uma ferramenta para controlar o processo de redução desde o topo.

Atualmente, a experiência de numerosas instalações ao redor do mundo adiciona os seguintes aspectos que contribuem para a universalidade do TSC:

- altos-fornos de todos os tamanhos e tipos de condições operacionais podem operar no estado da arte com o uso do TSC;
- a intercambiabilidade dos componentes, ampla mesmo entre subtipos de TSC e a universalidade de sua operação faz o sistema atrativo para os siderurgistas com altos-fornos de tamanhos diferentes; e
- todos os altos-fornos onde houve a implantação de sistema de TSC reportaram ganhos na segurança e disponibilidade do processo, na produtividade e no consumo de agentes redutores.

## 4 CONCLUSÕES

Sistemas de carregamento TSC são o estado da arte nos projetos de carregamento pelo topo de altos-fornos, para uso em qualquer tamanho de reator, com qualquer matéria-prima e qualquer condição operacional. Hoje, esses sistemas representam soluções tecnológicas, baseadas numa vasta experiência de mais de 500 aplicações ao redor do mundo. O TSC fornece ao usuário soluções únicas em termos de disponibilidade, manutenibilidade, uso prático e eficiência do processo do alto-forno. Uma popularidade ininterrupta há quase 40 anos, o que lhe garante mais de 60% do mercado mundial de produção de gusa. O seu desenvolvimento contínuo e a sua aplicação têm contribuído para seu sucesso como solução tecnológica completa dentro da comunidade siderúrgica dos altos-fornos.

A Paul Wurth continuará o caminho do desenvolvimento contínuo para todos esse produtos. As melhorias sempre terão como foco a manutenibilidade do sistema, a extensão da vida útil e a precisão da distribuição de carga.

## REFERÊNCIAS

- 1 J.Buchwalder, Dr. V. A. Dobroskok, R. Goffin, Emile Lonardi, Guy Thillen; Contemporary Blast Furnace Top Charging Practices, METEC InSteelCon 2007, p. 610;
- 2 Catálogo Paul Wurth – Bell Less Top® Charging System - PWLU-0000193.
- 3 R. Nurjev, A. Pavlov, L. Hausemer, M. Suvorov; Proven experience of application of PW MINI BLT at KMZ BF 1 1066 m<sup>3</sup> (Russian language), International congress of blast furnace operators “Metallurgy XXI century”;
- 4 P. Tockert, C. Thirion, E. Lonardi, G. Thillen, R. Goffin, L. Hausemer; New developments in Bell-Less Top® Charging Technology of Blast Furnaces, AISTech 2009 Proceedings – volume I, 413 – 421;
- 5 P. Bermes, P. Tockert, J.P. Simões, F. Hansen, L. Hausemer; Advanced BF Process Control using BFXpert™, PRIISM – 2010 Ranchi, India, 2010;