

DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E REAÇÃO A UM BLECAUTE NO COMPLEXO COM DOIS ALTOS FORNOS ANTES DO START UP¹

A interação entre as áreas de redução de minério e de co-geração e distribuição de energia para a partida e operação segura dos altos fornos

Bernardo Matoso Tarbes Vianna²

Claudio Sobreira Viana³

Jayme Barg⁴

Marcelo Alves de Carvalho⁵

Marcus Vinicius Oliveira Gimenez⁶

Ramon Almeida da Silva⁷

Tiago Campelo Medeiros⁸

Resumo

Simulação de diferentes condições de operação dos fornos e definição do consumo de energia elétrica da planta e de suas cargas essenciais para garantir a parada segura do complexo siderúrgico em caso de falta externa no suprimento de energia antes da entrada em operação da planta

Palavras-chave: Alto Forno; Co-geração; Distribuição de energia; Operação em ilha.

DEFINITION OF THE POWER DISTRIBUTION AND POWER FAILURE REACTION SYSTEMS IN A TWO BLAST FURNACES FACILITY BEFORE START UP

The interaction between Ironmaking and Energy Distribution & Co-Generation areas in order to ensure Blast Furnace's start up and safe operation

Abstract

Simulation of different scenarios for blast furnace's operation, defining its electrical energy consumption and the essential loads to ensure safe stoppage in case of an external power failure

Key words: Blast Furnace; Co-generation; Energy distribution; Island operation.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenheiro Eletricista, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

³ Gerente de Distribuição de Energia, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

⁴ M.Sc, Gerente de Manutenção dos Altos Fornos, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

⁵ Gerente de Operação dos Altos Fornos, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

⁶ Gerente de Distribuição de Utilidades, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

⁷ Engenheiro Metalurgista, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

⁸ Engenheiro Mecânico, Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico.

1 INTRODUÇÃO

O trabalho tem início nos primeiros meses de 2008. No momento em que o grupo começa os estudos e previsões que farão parte deste trabalho, o *site* era composto por bate-estacas, desenhos unifilares e descritivos funcionais ainda em detalhamento para a futura operação das plantas dos altos fornos e da termoeletrica. Não havia equipamentos dispostos no parque reservado para a futura instalação siderúrgica e o start up estava previsto para a metade de 2009.

1.1 Apresentação das Instalações da TKCSA



Figura 1. Visão panorâmica do complexo siderúrgico da TKCSA. Destaque para as plantas dos Altos Fornos e para a Termelétrica.

A TKCSA possui dois altos fornos a coque. Cada um composto por 32 ventaneiras e com altura aproximada de 100 m.

Uma questão fundamental para o desenvolvimento e compreensão deste trabalho está na subdivisão da planta dos altos fornos em *Plant Units* (PU).

Tabela 1. *Plant Units* ativas durante a montagem e comissionamento dos Altos Fornos

PLANT UNIT	DESCRIÇÃO	ABRANGÊNCIA
PU 01	Topo, Corpo e Casa de Corridas	AF 1, AF 2
PU 02	Stockhouse	AF 1, AF 2 e Comum
PU 03	Regeneradores	AF 1, AF 2
PU 04	Limpeza de Gás	AF 1, AF 2
PU 05	Refrigeração	AF 1, AF 2 e Comum
PU 06	Despoeiramento	Comum
PU 07	Moagem e Injeção de Carvão Pulverizado	AF 1, AF 2 e Comum
PU 10	Granulação de Escória	AF 1, AF 2
PU 12	Tratamento de Água	Comum
PU 15	Água de Emergência	Comum
PU 16	Elétrica e Automação	AF 1, AF 2 e Comum

A capacidade instalada é de 5,3 milhões toneladas/ ano de ferro-gusa (7.500t/dia/AF) e 1,4 milhões toneladas/ano de escória. O ferro gusa é consumido na aciaria e a produção de escória granulada é inteiramente vertida para a planta de cimentos da Votorantim, presente no interior do complexo da TKCSA.

Já o gás gerado no processo dos altos fornos é queimado em duas turbinas a gás e depois recuperado em caldeiras para produção de 50% do vapor utilizado na turbina a vapor. O restante do vapor é oriundo da coqueria.

Cada turbina a gás pode atingir até 90 MW de geração bruta, enquanto a turbina a vapor tem capacidade para atingir 310 MW, totalizando 490 MW (310 + 2 x 90). Tais valores estão condicionados à temperatura e pressão do vapor produzido na coqueria e também da qualidade do gás de alto forno (GAF).

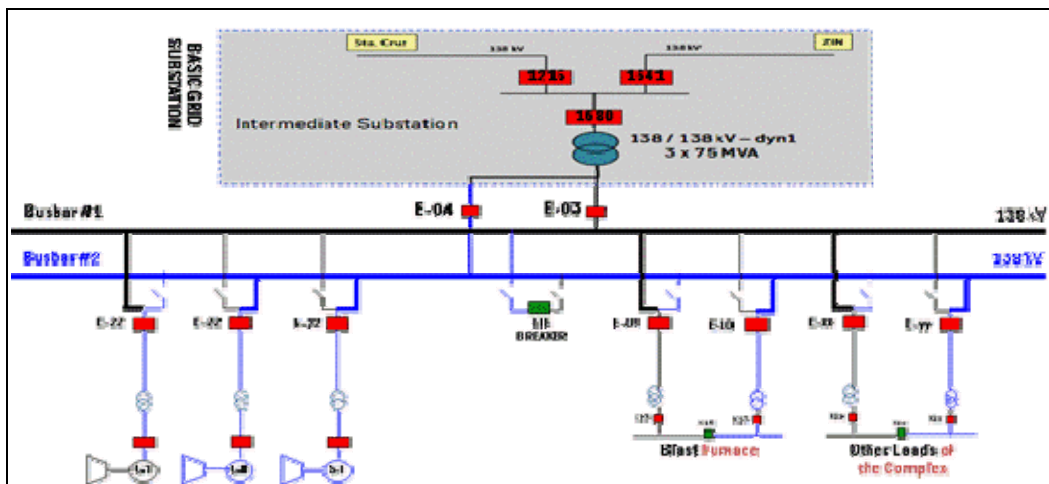


Figura 2. Unifilar esquemático da distribuição de energia na TKCSA. Da linha de transmissão (externa) até as barras de entrada das áreas produtivas.

A TKCSA está conectada à Rede de Distribuição em 138 kV através de dois barramentos, seccionáveis por um disjuntor *Tie Breaker* (normalmente aberto), nos quais estão conectadas a sua Termoelétrica e as demais cargas do complexo, conforme a Figura 2.

Visando a parada segura da planta, foi desenvolvido o que podemos chamar de Sistema de Ilhamento, ou Operação em Modo Ilha (IOM). Isto ocorre quando o sistema de proteção interna detecta algum distúrbio ou mesmo um apagão (*Black-out*) no SIN (Sistema Elétrico Integrado Nacional) e comanda a abertura dos disjuntores gerais de entrada 'E-03' e 'E-04'. Neste caso a energia elétrica passa a ser provida exclusivamente pela sua Termoelétrica (ou *Power Plant*, identificada pelas duas turbinas a gás e pela turbina a vapor na Figura 2).

Dentro deste contexto foi concebido o conceito de barra *Blue* e barra *Black*. Na barra *Blue* ou barra segura estarão conectadas as cargas essenciais da TKCSA que, no caso de IOM, se mantêm em operação alimentadas pela *Power Plant*. As cargas não essenciais estão conectadas à barra *Black* e no caso de desconexão com o SIN têm sua alimentação interrompida (*black-out*), permanecendo desligadas até a normalização da ocorrência.

1.2 Origem / Propósito Inicial

Em condições normais de operação, uma turbina a gás e uma turbina a vapor estão conectadas na barra *Blue* enquanto a segunda turbina a gás, na barra *Black*. Em caso de ilhamento, a turbina a vapor assume o controle de frequência da rede e

mantém em operação os equipamentos conectados nessa barra. Já a outra turbina a gás (na barra *Black*) não é capaz de realizar controle de frequência e, portanto, se desconecta do barramento. Neste caso, a disponibilidade de potência remanescente na barra *Blue* pode atingir até 310 MW.

A questão é que nos primeiros meses pós-start up, a planta ainda não se encontra em operação estável e, portanto, sem condições normais de operar a turbina a vapor e também ainda sem disponibilidade de GAF. Assim, a única opção para se manter as condições de ilhamento é a operação da turbina a gás com gás natural.

Usando o gás natural como combustível (condição atípica), a GT reduz sua capacidade de geração bruta para 35 MW, porém, passa a realizar ajuste de frequência e pode manter as cargas essenciais conectadas à barra segura em caso de IOM, desde que limitadas à sua geração líquida de, aproximadamente, 28,5 MW. Tendo em vista o alto custo do gás natural, o desafio seria viabilizar a alternativa de se utilizar apenas um GT com gás natural nos primeiros 45 dias de operação do alto forno nº1 (tempo necessário para que o GAF atingisse a qualidade adequada para utilização na termoeletrica).

Dentro deste contexto, o alto forno precisaria responder às seguintes perguntas:

- Qual o consumo de energia para operarmos um alto forno? E qual seria o consumo na operação dos dois altos fornos?
- Qual o impacto em kW no Alto Forno caso uma das barras fique sem energia?
- Quais as cargas essenciais para garantir uma parada segura dos altos fornos, em caso de queda de energia elétrica?
- Quanto tempo o alto forno poderia ficar completamente sem energia elétrica?

A resposta a todas as perguntas acima dependerá, basicamente, de três fatores:

- Do momento operacional do alto forno. Isto é, se o mesmo se encontra vazando ou não, qual o nível de cadinho, qual o nível de carga, qual a temperatura interna, se está ou não injetando carvão pulverizado, entre muitas outras considerações;
- Do cenário da distribuição interna de energia elétrica. Ou seja, quais cargas estarão no barramento seguro e quais cargas serão desligadas devido ao blecaute; e
- Por fim, da existência e do correto comportamento de energias alternativas como: atuadores pneumáticos, acumuladores hidráulicos, painéis de baterias elétricas e motores a diesel.

Portanto, foi necessário desenvolver uma plataforma simples que fosse capaz de calcular consumos elétricos por barramento ou por alto forno para os mais variados cenários de distribuição elétrica e condições operacionais dos fornos. Essa ferramenta deve então viabilizar a comunicação entre as duas áreas: Alto Forno e Energia. Traduzindo metalurgia para eletricitistas e eletricidade para metalurgistas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento do Simulador de Cargas

O Simulador de Cargas foi desenvolvido em Excel e tem estrutura similar à junção de todos os diagramas unifilares dos altos fornos. Cada um dos quatro quadrantes representa uma sala elétrica, onde estão dispostos painéis de alta e baixa tensão.

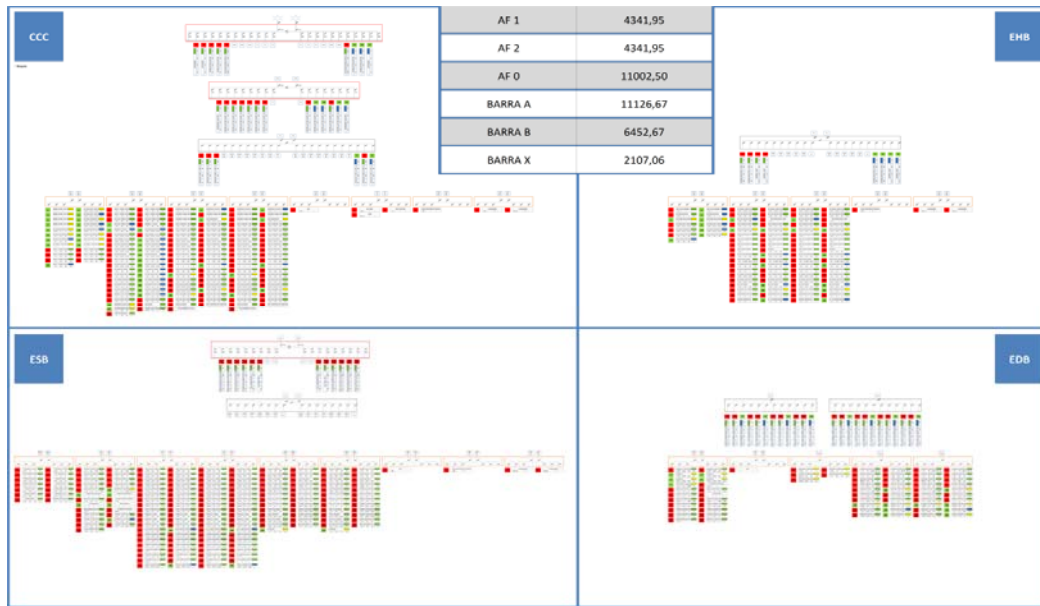


Figura 3. Visão geral da tela principal do Simulador de Cargas.

Os painéis de alta tensão são compostos por motores com potência ativa superior a 200 kW. Possuem dois disjuntores de entrada (Barra A e Barra B) e um TIE. Durante as simulações, não foram consideradas as hipóteses de configuração em “tipo L” para nenhum painel. Ou seja, o disjuntor de interligação ‘TIE’ é considerado sempre aberto. Assim, as cargas à esquerda do TIE estarão sempre na Barra A, bem como as cargas no lado direito estarão sempre na Barra B

Já os painéis de baixa tensão, ou CCM, não possuem o TIE. Suas duas entradas possuem interlock mecânico e elétrico que garantem a condição de ao menos uma entrada aberta. Isto é, ora todas as cargas de um CCM estarão na Barra A, ora todas as cargas estarão na Barra B. O simulador os agrupa numa barra virtual denominada Barra X. Esta barra poderá contribuir tanto para a Barra A, quanto para a Barra B, de acordo com o cenário em questão.

No total, estão dispostos 545 motores com potências nominais que vão de 1 kW a 2.250 kW. Sendo que 80% da carga está concentrada nos painéis de alta tensão. Cada motor é representado conforme os dois exemplos da Figura 4:

1	I	2	3	I	4	5	6	7
PENEIRA 1 PELOTAS		PU02/1		VENT 1 TORRE DE RESFRIAMENTO		PU05/0		
30	30	30	18	75	55	55	50	
4	5	6	7					

- Botão Liga/ Desliga:** O click nesta célula altera o seu estado de **V VERDE** (Desligada) e vice-versa.
- Nome da Carga:** Descrição resumida da forma como o equipamento é normalmente identificado pela operação.
- TAG Parcial:** Indica a qual PU e a qual Alto Forno a carga pertence. O nº após a barra será ‘1’ (AF #1), ‘2’ (AF #2) ou ‘0’ (Comum aos AAF).
- Potência Instalada:** Dado de placa do motor.
- Potência Instalada:** Dado fornecido pela documentação do projeto
- Potência Máxima:** Dado fornecido pela documentação do projeto. Pot. máxima a qual o motor atingirá em condições normais de operação.
- Potência Média:** Dado fornecido pela documentação do projeto.

Figura 4. Dois exemplos típicos de como uma carga é representada no Simulador de Cargas.

O acumulador (Figura 5), display localizado no centro-superior da tela do simulador de cargas, apresenta a potência média (kW) em dois possíveis formatos: Agrupada por Alto Forno: Isto é, se a carga pertence ao alto forno #1 ('AF 1'), alto forno #2 ('AF 2') ou é comum aos dois fornos ('AF 0'). Ou agrupada por Barramento: Se a carga está conectada à Barra A ou à Barra B.

Ao "ligar" uma carga qualquer no simulador, seu valor de potência será somado no acumulador tanto no campo 'por alto forno', quanto no campo 'por barramentos'. E ao desligar, seu valor de potência será subtraído dos mesmos campos. Dessa forma, o somatório dos dois grupos será sempre igual.

Por Alto Forno	AF 1	4323,95	$ \begin{array}{r} 4.323,95 + \\ 4.323,95 + \\ 11.002,50 \\ \hline \mathbf{19.668,40} \end{array} $
	AF 2	4341,95	
	AF 0	11002,50	
Por Barra	BARRA A	11126,67	$ \begin{array}{r} 11.126,67 + \\ 6.452,67 + \\ 2.089,06 \\ \hline \mathbf{19.668,40} \end{array} $
	BARRA B	6452,67	
	BARRA X	2089,06	

Figura 5. Detalhe dos acumuladores (display) que registram o somatório de potências das cargas 'ligadas' no Simulador.

2.2 Avaliação do Cenário da Distribuição Interna de Energia Elétrica

Deve-se ter em vista que, tanto as cargas específicas de um dos altos fornos, quanto cargas comuns aos dois altos fornos, estão distribuídas pelas barras A e B. Isto é, há cargas do AF1 nas duas barras, bem como, há cargas do AF2 nas duas barras. Por fim, as cargas comuns aos dois fornos também estão divididas. Tal organização possibilita simular centenas de diferentes cenários.

Outro fator que deve ser considerado é a existência de cargas em *stand by*. Por exemplo: Um determinado circuito de refrigeração funciona com duas bombas em operação e uma em *stand by*. As bombas #1 e #2 são alimentadas pela Barra A. Já a bomba #3 é conectada à Barra B. A escolha da dupla de bombas em uso não impacta no processo de refrigeração em si, mas tem impacto considerável para o sistema de distribuição de energia, pois a Barra que estiver conectada à *Power Plant* oferecerá mais segurança ao processo.

Abaixo estão listados os principais cenários para estudo:

- todas as cargas ligadas: Somatório das Potências Instaladas (Dados de Placa);
- todas as cargas ligadas: Somatório das Potências Médias (Dados de Projeto);
- cargas necessárias para o AF#1 operar em regime de produção nominal com máximo de cargas na Barra A ;
- cargas necessárias para o AF#1 operar em regime de produção nominal com máximo de cargas na Barra B;
- cargas necessárias para o AF#1 operar em regime de parada de emergência com máximo de cargas na Barra A;
- cargas necessárias para o AF#1 operar em regime parada de emergência com máximo de cargas na Barra B;
- cargas essenciais para o AF#1 no instante do ilhamento (Barra A segura); e

- cargas essenciais para o AF#1 no instante do ilhamento (Barra B segura).

2.3 Avaliação da Existência e Correto Comportamento de Energias Alternativas

Foi utilizada a divisão do complexo dos altos fornos por PU para a realização dos testes de falta de energia (Power Failure Tests). Desta forma reduzimos a abrangência do teste, facilitando o acompanhamento e análise dos resultados. Ao final, a junção dos resultados dos testes de cada subplanta representa o resultado de um Power Failure Test completo do alto forno.

O teste era coordenado da seguinte forma: Antes da execução, as equipes de operação, manutenção e de projeto dedicadas à determinada PU em teste listavam as reações automáticas esperadas com base no descritivo funcional.

Em seguida, a equipe de elétrica estudava e preparava previamente, a melhor forma de interromper o fornecimento de energia elétrica apenas nos equipamentos desta PU, com o menor número de manobras possível. Em alguns casos foi necessário desligar até três disjuntores simultaneamente.

No momento do teste, a equipe portava rádios de comunicação e se posicionava de forma estratégica na área. A manutenção mecânica e os operadores de campo se posicionavam próximos aos principais equipamentos. Na subestação ficava a equipe de manobras elétricas e na sala de controle, as equipes de automação e operação de sala.

Após o teste, os resultados eram coletados nas telas de processo, nas listas de alarmes e eventos, tendências, inspeções visuais e etc.

3 RESULTADOS

3.1 Simulações dos Cenários Sugeridos

Cada cenário sugerido no item 2.2 (Avaliação do Cenário da Distribuição Interna de Energia Elétrica) foi montado no simulador conforme a experiência da equipe de operação e a documentação de projeto.

Os resultados, em MW, para cada cenário é apresentado pela Tabela 3.

Tabela 3. Resultado, em MW, extraídos do Simulador de Carga

#	CENÁRIO	AF 1	AF 2	AF 0	BAR A	BAR B	TOTAL
a1	TODAS AS CARGAS LIGADAS _ POTÊNCIA INSTALADA	8,88	8,88	14,98	16,77	15,96	32,74
a2	TODAS AS CARGAS LIGADAS _POTÊNCIA MÉDIA	6,39	6,34	12,20	12,84	12,10	24,93
b1	AF1_OPERAÇÃO NORMAL MAX BARRA A	4,34	0,00	6,35	10,69	0,00	10,69
b2	AF1_OPERAÇÃO NORMAL MAX BARRA B	4,34	0,00	6,35	2,80	7,89	10,69
c1	AF1_OPERAÇÃO EMERGÊNCIA MAX BARRA A	2,17	0,00	2,47	4,65	0,00	4,65
c2	AF1_OPERAÇÃO EMERGÊNCIA MAX BARRA B	2,17	0,00	2,47	1,73	2,92	4,65
d1	AF1_ESSENCIAIS_EMERGÊNCIA MAX BARRA A	0,73	0	0,31	0	1,03	1,03
d2	AF1_ESSENCIAIS_EMERGÊNCIA MAX BARRA B	0,73	0	0,31	1,03	0	1,03

- a) os cenários 'a' nos mostram os limites de consumo da planta e dão uma base para a relação entre os dados estipulados como médios pelo projeto e os dados de placa. Indica ainda que a parcela comum aos dois fornos representa quase a metade do consumo total. Por fim, que há mais cargas na barra A do que na B;
- b) estes cenários dão a exata noção do impacto da perda de energia em uma das barras. Isto é, o 'pior' caso é a falha na barra A com o cenário b1 (desligamento de 10,69 MW). Já a melhor situação seria a falha na barra B com o cenário b1 (nenhuma consequência). Observa-se que o alto forno nº1 pode ser alimentado, exclusivamente, pela barra A. O mesmo não ocorre pela barra B;
- c) os cenários 'c' indicam as cargas essenciais ao forno durante uma parada segura. Observa-se que a os equipamentos essenciais do alto forno #1 não podem ser alimentados, exclusivamente, pela barra B. Neste cenário, o alto forno dá início ao seu procedimento de parada segura com, aproximadamente, uma hora de duração, até a parada completa do soprador;
- d) estas duas últimas simulações apresentam a maior concessão possível de cargas para um dos altos fornos. Nesta condição o AF#1 deve operar por, no máximo 5 minutos. Após este período, é necessário religar cargas até atingir o consumo estipulado pelo cenário 'c': Partir as demais bombas do sistema de refrigeração, retomar o sistema de carregamento do topo (stockhouse e correia transportadora principal) e o sistema hidráulico do topo e dos cones do lavador de gás.

3.2 Resultados dos Testes de Falta de Energia por PU

A Tabela 4 apresenta o relatório dos testes de queda de energia por PU, proposto no item 2.3 (Avaliação da Existência e Correto Comportamento de Energias Alternativas) descrevendo as reações esperadas e o que de fato ocorreu. Vale ressaltar que todas as não-conformidades encontradas no teste foram solucionadas antes do *start up*.

Tabela 4. Relatório resumido dos testes de queda de energia individuais por PU

PU 01	VÁLVULAS BLEEDER, EQUALIZADORA, ALÍVIO	Mantêm a posição. Em caso de estarem em movimento, completarão seu curso.	Cada válvula foi operada pelo menos 2x.
	MÁQUINAS PERFURATRIZES E DE TAMPONAR	Máquinas permanecem na última posição. Operador deve conseguir retirar Perfuratriz, inserir o Canhão e realizar última injeção de massa	Durante o blecaute, não mais se opera pelo controle remoto apenas pela mesa. Operador pôde recuar e avança as duas máquinas.
PU 02	CORREIAS TRANSPORTADORAS PENEIRAS E CALHAS VIBRATÓRIAS	Parada dos equipamentos, instrumentação e PLCs devem permanecer ativos	Aproveitou-se para cronometrar o tempo de deslocamento da equipe elétrica de um ponto afastado do AF até a subestação (6 min) e o tempo para que a operação reconhecesse todos os alarmes na tela e religasse os equipamentos (13 min)
PU 03	VÁLVULAS DE SEGURANÇA DA LINHA DE GÁS DE COMBUSTÃO	Deve fechar em <u>2 segundos</u> após falha no ventilador do ar de combustão	Teste nas fases de SOPRO, GAS e NEUTRO para todos os regeneradores. Também durante as transições. Válvulas demoraram 2 minutos para fecharem
PU 04 e P12	CONES (AGE)	Devem conservar a posição e ir para modo MANUAL. Testar capacidade dos acumuladores hidráulicos	Alterada pressão do TOPO (force na lógica): cones permanecem parados.
	VÁLVULAS GRITZKO	Devem fechar e inflar sua sede	Vedação na saída do Coletor de Pó, ok
PU 05 e PU 12	BOMBAS À DIESEL	Deve partir em caso de vazão baixa na saída das bombas elétricas	Testar partida com a falha de 02 bombas elétricas. Em seguida testar com a falha nas 03 bombas elétricas. OK
	BOMBAS À DIESEL	Possui dois grupos de baterias independentes. O segundo é utilizado 5 segundos após a falha na primeira partida	Desconectado, propositalmente, o primeiro conj. de baterias a e repetir o teste anterior. Cada bomba possuía um Δt
	VÁLVULAS (VBA) DE INTERLIGAÇÃO COM SIST. EMERGÊNCIA (PU15)	É uma alternativa em caso de falha da bomba à diesel. Tem um <i>delay</i> de 15 s p/ abrir e permitir a entrada da água de emergência no circuito de refrigeração	Colocar as bombas a diesel em manual (impedindo a partida das mesmas). VBA abriu de imediato (Não OK)
	VÁLVULAS (VBA)_ INTERLIGAÇÃO COM SIST. EMERGÊNCIA (PU15)	Deve fechar imediatamente em caso de retomada de uma bomba diesel ou duas elétricas (vazão > baixa)	Após correta atuação de abertura da VBA, no teste anterior, religar 01 bomba diesel ou 02 bombas elétricas (testar as duas formas). Verificar o fechamento da VBA
PU 07	VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA ISOLAÇÃO DO CARVÃO NA MOAGEM	Válvulas elétricas, mantidas aberta por um eletro-ímã. Na falta de energia, o imã é desligado libera o contra-peso que força o movimento de fechamento	Veda e isola a parte 'suja' da moagem: Da entrada do moinho à saída do filtro de mangas. OK
	GÁS NATURAL _GERADOR DE GÁS QUENTE (GGQ)	Deve fechar imediatamente	Confirmar status de fechada nas duas IMHs (Painel local e no Supervisório). OK
	VÁLVULAS N2 REFRIG. DA INSTRUM. GGQ	Devem abrir imediatamente após o <i>trip</i> do ventilador de ar de combustão	Manter a refrigeração dos instrumentos do GGQ (Não OK)
	ROLOS DO MOINHO	Devem baixar, ou permanecer na posição inferior	Testadas as duas condições: Rolos suspensos e rolos abaixados. OK
	ANALISADORES O2 E CO (INERTIZAÇÃO)	Os analisadores perderão energia e a inertização da planta permanecerá ativa	Verificar curva de inertização x tempo
PU 10	TANQUE DE EMERGÊNCIA	Válvula pneumática deve abrir imediatamente	Libera a água para o sistema (por gravidade) Não estava na UPS (NOK)
	SAÍDAS DAS BOMBAS ELÉTRICAS	Válvulas pneumáticas devem fechar imediatamente	Atuam como uma válvula de retenção. Impedem o retorno da água para as bombas. Não estava na UPS (NOK)

Tabela 4. Relatório resumido dos testes de queda de energia individuais por PU (cont.)

PU 16	PAINÉIS DE MÉDIA TENSÃO	Entradas só abrem em caso de abertura do disj. a montante. Não por sub-tensão.	Garantir maior rapidez no retorno de energia. OK
		<i>Intertrip</i>	Abrir disjuntor a montante e verificar abertura do disjuntor a jusante. OK
	CCM	Ao perder energia em uma das entradas, deve comutar, automaticamente, para a outra entrada	Testar se as cargas permanecem em operação OK.
	UPS	Deve permanecer operando	Testar a falha apenas no barramento em uso. A UPS <i>stand by</i> deverá assumir. OK
			Testar a falha de alimentação apenas no barramento em uso, porém colocar a UPS <i>stand by</i> em falha. A alimentação de emergência deverá assumir. OK
			Testar em uma falha completa (nos 02 barramentos). O banco de baterias deverá assumir e permanecer ativo por 30 minutos. OK

4 DISCUSSÃO

4.1 Comparação: Simulador x Dados Reais

A Tabela 5 detalha o consumo de cada carga superior a 100 kW e também de cada painel CCM, comparando os valores utilizados pelo simulador com valores reais medidos pelo sistema de automação durante a operação.

Tabela 5. Comparação entre os valores utilizados pelo simulador e valores reais (pós o start up).

Denominação	kW Médio SIMULADO	kW Médio REAL	DESVIO
BOMBA AGUA EMERGÊNCIA	235	200	35
BOMBA BOOSTER 1 VENTANEIRAS C 1	150	142	8
BOMBA LAVAGEM DE GÁS	310	320	-10
BOMBA RECIRCULAÇÃO LAVADOR DE GÁS	114	122	-8
BAOMBA REFRIGERAÇÃO CIRCUITO C1	300	300	0
BAOMBA REFRIGERAÇÃO CIRCUITO SECUNDÁRIO	390	345	45
BAOMBA REFRIGERAÇÃO CIRCUITO C2	170	167	3
CORREIA TRANSPORTADORA PRINCIPAL	187	63	124
EXAUSTOUR DESPOEIRAMENTO STOCKHOUSE	500	463	37
EXAUSTOUR DESPOEIRAMENTO CASTHOUSE	1800	1500	300
VENTILADOR AR COMBUSTÃO REGENERADORES	791	701	90
VENTILADOR PRINCIPAL MOAGEM E SECAGEM	700	650	50
MOINHO MOAGEM E SECAGEM	650	500	150
CCM REFRIGERAÇÃO	256	327	-71
CCM TRATAMENTO DE ÁGUA	318	176	142
CCM REGENERADORES AF1 PU03	37	4	33
CCM STOCKHOUSE AF0 PU02	102	89	13
CCM STOCKHOUSE AF1 PU02	340	240	100
CCM MOAGEM E INJEÇÃO	202	16	186
CCM PÁTIO-STOCKHOUSE	160	150	10
CCM HIDRÁULICA AF0 PU 01	20	45	-25
CCM HIDRÁULICA AF1 PU 01	304	80	224
CCM DESPOEIRAMENTO CASTHOUSE	156	50	106
CCM INBA 01	1264	1100	164
BOMBA AGUA EMERGÊNCIA	235	200	35
BOMBA BOOSTER 1 VENTANEIRAS C 1	150	142	8
BOMBA LAVAGEM DE GÁS	310	320	-10

Motores mais previsíveis e analisados individualmente, como os motores acima de 150 kW das bombas de água e dos ventiladores obtiveram desejável índice de similaridade entre seus valores teóricos e reais.

Exceção é feita para o maior motor do complexo, o exaustor do despoeiramento da casthouse, que apresentou o maior desvio. Neste caso ajustes de desempenho para aumentar a exaustão estão em pauta e podem impactar no aumento de consumo deste motor (aproximando-se do valor de consumo simulado).

Porém, a maior parcela de desvio encontrada está concentrada em motores de equipamentos com grande variação de carregamento em suas operações, como as correias transportadoras e o moinho além dos painéis de CCM que têm análise complexa por representarem um grupo com muitas cargas individuais.

4.2 Configuração de Ilhamento da TKCSA

No dia 13 de julho de 2010, foi realizado o *blow in* do primeiro alto forno da TKCSA, tendo como garantia de ilhamento, uma GT a gás natural. Nesse período, o complexo possuía as seguintes cargas já em operação: Porto, Pátio de Matérias Primas, Sinterização, Utilidades e a Unidade de Separação de Ar da Air Liquide (responsável pela produção de gases, ar comprimido e pelo ar soprado). A Tabela 6 mostra o acordo fechado entre as áreas da TKCSA e mais a Air Liquide para a utilização segura dos 35 MW disponíveis na barra *Blue*.

Tabela 6. Cargas essenciais conectada à barra *Blue*, por área operacional.

MÁXIMO DE CARGAS_BARRA BLUE (MW)		Instante da Falha	Após 5 minutos
TKCSA	Alto Forno	1,3	4,7
TKCSA	Power Plant (Auxiliares)	6,5	6,5
TKCSA	Utilidades	1,2	1,2
AIR LIQUIDE	Auxiliares	3,2	3,2
AIR LIQUIDE	Soprador	22,8	16,0
TKCSA	Sinterização	0	0
TKCSA	Porto	0	0
TKCSA	Pátio de Mat. Primas	0	0
TKCSA	Aciação	Fora de Operação	Fora de Operação
TKCSA	Coqueria	Fora de Operação	Fora de Operação
VOTORANTIM	Fábrica de Cimentos	Fora de Operação	Fora de Operação
SOMATÓRIO DAS CARGAS		35	31,6
GERAÇÃO DISPONÍVEL P/ 01 GT (GÁS NATURAL)		35	35

O Alto Forno definiu a barra B como sua barra segura e se comprometia a conectar nela, durante os primeiros 45 dias de operação, apenas três bombas do sistema de refrigeração (PU05), uma do sistema de tratamento de água e uma do sistema de limpeza de gás (PU04), totalizando ~ 1,1 MW. (Vide cenário d2 da Tabela 3)

Estas cinco bombas possuíam até dois *stands by* na barra A. Portanto, a escolha da barra B como *Blue* para o Alto Forno já foi uma forma de garantir que apenas uma das três estaria em operação pela barra segura.

Em caso de ilhamento, um painel de proteção dedicado, localizado na subestação principal da TKCSA, dispararia dois sinais automaticamente: Um para reduzir o soprador e outro para acionar uma sirene na sala de operação dos altos fornos.

Ao reduzir a vazão de sopro, a máquina reduz também a sua demanda de energia, de 22,8 para ~16 MW. Neste momento o alto forno estaria liberado para fechar o seu disjuntor TIE e religar mais cargas necessárias a uma parada segura do AF #1.

5 CONCLUSÃO

Diversas alternativas técnicas foram discutidas para os primeiros 45 dias de operação pós-blow in: Uma ou duas turbinas a gás operando com gás natural, contratação, ou não, de energia (segura) via termelétrica externa em Santa Cruz, compra externa de vapor, ou até a importação de um moto-soprador à Diesel.

A ferramenta desenvolvida e os testes realizados embasaram as respostas do alto forno em relação ao seu consumo de energia. Forneceram subsídio à escolha da configuração de menor custo possível: Apenas uma turbina a gás operando com gás natural.

Além disso, contribuiu ainda para reduzir as perdas materiais e evitar impactos mais severos como acidentes pessoais e ambientais nos dois ilhamentos registrados dias 27 de novembro e 11 de dezembro de 2011.

Note que estes ilhamentos ocorreram após os primeiros 45 dias de operação. Isto é, a configuração da termelétrica com apenas uma GT operando a gás natural é uma situação operacional prevista e poderá ser utilizada sempre que houver déficit na quantidade ou qualidade de vapor e GAF.

Para a partida do segundo alto forno (AF#2), o simulador deverá ser reparametrizado com valores reais obtidos pelo acompanhamento do desempenho das cargas em operação no AF#1.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a toda equipe de operação e manutenção dos altos fornos.

Este trabalho também não se concretizaria sem a participação das áreas de Energy Media e Power Plant.

Às equipes de projeto e comissionamento da Paul Wurth e da EXOR.

Em especial, agradeço ao meu irmão, André Matoso Tarbes Vianna. Seu conhecimento em Excel e disposição ao ceder alguns dias de suas férias foram fundamentais para a customização do programa.