

Melhoria Contínua do Processo de Produção de Alumínio Primário na Novelis do Brasil em Ouro Preto

Paulo César Alcântara (UFV) alcatarapc@yahoo.com.br

*Resumo: Em um processo produtivo seja ele qual for, o controle e a padronização são fundamentais para a acurácia dos resultados. Em grande parte das vezes em que o processo não possui tecnologias avançadas e a mão de obra é o seu principal agente operacional, a padronização é o caminho para manter iguais as saídas do processo. Alterando os agentes operacionais, é importante estar atento a alguma tecnologia inserida no processo em uma determinada etapa e nela buscar alternativas ou oportunidades de melhoria. Para tal empreendimento, existem ferramentas de análises estatísticas, como as cartas de controle, testes de verificação da distribuição dos dados amostrais, *brasinorting*, análise das causas raízes, diagrama de Ishikawa, gráfico de Pareto, matriz de priorização (esforço vs. impacto) e testes de comparação de médias, que auxiliam e podem determinar um rumo a seguir. Neste estudo, o objetivo foi buscar a diminuição da ocorrência de um fenômeno que onera muito os custos de produção do alumínio primário. Nas ocorrências dos efeitos anódicos na redução 03, utilizando-se destas ferramentas e a metodologia DMAIC, que consiste em definir o problema (D), mensurando-o (M), analisando os dados coletados (A), implementando as melhorias (I) e controlando as implementações (C), constatou-se uma diminuição considerável na ocorrência do fenômeno abordado da ordem de 12,73% na frequência dos efeitos anódicos na redução 03 Novelis do Brasil em Ouro Preto MG.*

Palavras-chave: Redução de custos; Controle de qualidade; Seis Sigma.

1. Introdução

A Novelis é uma empresa pertencente à *Hindalco Industries Limited*. Ela surgiu no mercado em janeiro de 2005 em função de um desmembramento dos negócios de laminados da *Alcan* (Alumínio Canadense LTDA). Tem uma sólida posição nos mercados automotivos, de latas para bebidas, de folhas industriais, de chapas pintadas e para litografia. Como diferenciais de negócio, a corporação se destaca pela presença e escala mundiais com 36 instalações operacionais em 11 países. Tem cerca de 13 mil colaboradores no mundo, relações comerciais sólidas, liderança mundial em fornecimento de produtos laminados de alumínio, capacidade de produção elevada, é a maior compradora individual de alumínio do mundo e líder em reciclagem e alumínio.

No Brasil, a Novelis possui uma unidade de alumínio primário: a unidade de Ouro Preto (MG) com capacidade de produção em torno de 27.000 toneladas por ano. Essa fábrica produz placas que abastecem a unidade de laminados de Pindamonhangá (SP). Além de abastecer a unidade de Pindamonhangá, a unidade de Ouro Preto fornece lingotes, tanto no mercado interno como no externo, como também abastece a indústria de extrudados de alumínio com diversas ligas na forma de tarugos. A produção de alumínio primário é cercada pelo alto consumo de energia elétrica. Como este insumo está em torno de 50% do custo de produção, torna-se necessário uma busca constante no seu controle. Visto que quanto maior for a resistência nas cubas de produção, maior será o consumo de corrente elétrica.

Portanto, o objetivo deste estudo consistiu, principalmente, na apresentação de um projeto para a diminuição contínua das ocorrências dos efeitos anódicos na redução 03 na *Novelis* do Brasil em Ouro Preto.

2. Revisão de Literatura

A metodologia DMAIC está focada na robustez e simplificação dos processos, de forma a assegurar a redução do nível de defeitos, os aumentos da satisfação dos clientes e da lucratividade da organização. Ela é constituída de cinco etapas integradas.

Na etapa inicial, ou seja, na parte D do ciclo, a direção e as gerências dão as diretrizes para as equipes de melhorias. São feitas pesquisas para levantar as características essenciais para os clientes – variáveis “Ys” mais importantes. Coloca-se forte ênfase na escolha de projetos que possam resultar em ganhos econômicos significativos e em prazos relativamente curtos. Nesta etapa os “campeões”, líderes dos especialistas na metodologia, devem disponibilizar os recursos necessários e liberá-los de suas funções normais, de tal forma que possam concentrar os seus esforços nestes projetos.

Na sequência, o trabalho passa a ser coordenado pelos especialistas. Na etapa M, busca-se fazer a tradução das variáveis críticas do cliente (“Y”) para as variáveis críticas do produto (“y”), avaliar a confiabilidade do sistema de medição e avaliar o desempenho dos “ys” mais críticos. Na etapa A, determina-se as variáveis críticas do processo (“x”) que podem afetar as variáveis críticas do produto (“y”), quais destes “xs” apresentam-se como as maiores fontes de variação do processo, faz-se as melhorias nas variáveis “xs” evidentes e escolhe-se as variáveis “xs” controláveis mais apropriadas para os futuros ensaios. Na etapa M, aplica-se o planejamento experimental para diferenciar as variáveis pouco vitais das muito triviais, faz-se a análise de sensibilidade para avaliar o comportamento das variáveis mais importantes, estabelece-se as condições de trabalho mais adequadas e as tolerâncias máximas, principalmente, para as variáveis pouco vitais. A etapa C consiste em planejar as estratégias de monitoramento e melhoria contínua das variáveis “xs” mais importantes, para que a melhoria do processo siga um comportamento em degraus e não em forma de serra.

Finalmente, deve ser mantido um histórico dos estudos realizados, para que os conhecimentos adquiridos sejam divulgados e aplicados em processos similares da empresa, uma vez que não é inteligente e nem econômico, “reinventar a roda” a cada novo problema. A metodologia DMAIC é utilizada ao longo de todo o processo de construção da qualidade de uma empresa, a qual tem três grandes fases: o planejamento da qualidade, a melhoria da qualidade e o controle da qualidade.

Trabalhando da forma tradicional, os operadores dificilmente seriam capazes de levar o processo a patamares com menores custos da não qualidade. O maior esforço possível a ser feito é utilizar as ferramentas de controle da qualidade, como o controle estatístico de processos, para prevenir a deterioração das condições verificadas. Como se pode verificar, a metodologia DMAIC, que dá maior ênfase à medição e aos resultados, é na verdade, uma versão modificada do ciclo PDCA.

No Brasil, as primeiras empresas a adotarem a estratégia, enviaram os seus engenheiros para serem treinados, principalmente, nos Estados Unidos da América. Como exemplo, a *General Electric Plastics*, *Brasmotor*, *Asea Brown Boveri*, *Motorola*, *Copene*, *Santanense* e *Novelis*, dentre outras.

A adoção desta estratégia requer a estruturação de uma força tarefa altamente capacitada, constituída pelo gestor do projeto (*Champion*), dotado de reconhecida capacidade

de liderar e transmitir confiança, para dar suporte político, técnico e financeiro e pelo consultor interno (*Master Black Belt*), que faz a ligação entre as equipes e o *Champion*.

Na metodologia Seis Sigma, o termo sigma refere-se à letra σ do alfabeto grego, usada para descrever variabilidade das características de processos e de produtos. O conceito do nível da qualidade sigma está correlacionado com o número de defeitos e a forma de estabelecer esta correlação é através da distribuição normal de probabilidades. Neste sentido, um processo seis sigma é aquele que trabalha com seis desvios-padrão dentro de cada metade da especificação e centrado no alvo. Em geral são consideradas comuns as flutuações da média do processo da ordem de 1,5 sigmas.

Quando o processo apresenta flutuações deste tipo, é possível reconhecer dois tipos de variação: a de curto e longo prazo. Quando se considera a variação de longo prazo, o nível sigma pode cair, por exemplo, de 6 para 4,5 sigma, devido ao aumento do desvio-padrão de longo prazo, produzido pelas oscilações da média do processo em torno do alvo. Embora o objetivo de longo prazo da estratégia seis sigma seja atingir o nível da qualidade 6σ , no curto prazo devem ser escolhidos os projetos que gerem os maiores benefícios para a interação cliente x fornecedor.

Uma vez analisados os fundamentos teóricos da metodologia DMAIC e a estratégia em que está inserida, a seguir será feita uma descrição sucinta da metodologia do trabalho, que também é adotada para melhorar o processo, através da identificação e da remoção das causas de anomalias neste processo.

3. Material e Métodos

O estudo foi realizado a partir de uma análise básica do processo operacional das cubas, em que foram observadas oportunidades de ganhos técnicos e financeiros. Na sequência, uma relação de algumas atividades realizadas: levantamento dos dados, criação de um plano de comunicação, realização de testes, aferição e estudo de todo o sistema de medição.

De acordo com o escopo das atividades, foi realizado um planejamento da coleta de amostras e, logo em seguida, iniciou-se uma bateria de testes. Com a realização dos testes, analisou-se a relação existente entre as variáveis do processo, utilizando-se: poder do teste, gráfico de controle, gráfico de esforço vs. impacto e gráfico da causa raiz.

3.1. Produção de Alumínio

Durante o processo de produção do alumínio ocorre um fenômeno que é conhecido como efeito anódico (EA), que consiste na rápida e forte elevação da voltagem de operação para valores acima de 8 Volts, que é o menor valor que se considera em efeito anódico, normalmente passando de 4,3 a 4,4 V para 25 a 35 V em poucos segundos. Neste momento, o consumo de energia aumenta absurdamente, bem como a geração de calor no banho da cuba, além da grande emissão de gases do efeito-estufa, o perfluorcarbono (PFC). Portanto, a eliminação deste ruído no menor tempo possível é um dos grandes desafios das plantas de alumínio. A energia elétrica é uma das principais matérias-primas. É através dela que se obtém o aquecimento adequado do forno de redução da alumina para manter o eletrólito líquido e promover a dissociação da alumina pela passagem de corrente elétrica, trazida pelos condutores e distribuída no forno através da seção do ânodo.

A alumina produzida pelo processo químico será encaminhada para a produção, onde será produzido o alumínio líquido. Este alumínio é obtido através do processo de eletrólise, que se dá pela dissociação da alumina (Al_2O_3), em banho de criolita, fluorita e fluoreto. Este banho é adicionado com o objetivo de baixar o ponto de fusão da alumina, fundindo-se pela passagem de uma corrente elétrica de alta amperagem e baixa voltagem, conduzida até este banho por meio de um ânodo, composto de pasta *Solderbeg*, também produzido em Ouro Preto, na fábrica de Pasta e Revestimento de Carbono. A reação de eletrólise ocorre numa temperatura em torno de $960\text{ }^\circ\text{C}$, temperatura do banho eletrolítico.

A reação de dissociação da alumina é dada por: $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{Al}^0 + 3/2\text{O}_2(\text{g})$.

Já o oxigênio liberado oxida o carbono dos anodos em: $3\text{C}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$.

Desse modo, a reação global é: $2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) \rightarrow 4\text{Al}^0 + 3\text{CO}_2(\text{g})$.

A planta de produção de alumínio primário da *Novelis* do Brasil, está situada em Ouro Preto, na Serra do Espinhaço, na Zona Metalúrgica (Quadrilátero Ferrífero), na Região Central da Macrorregião Metalúrgica e Campo das Vertentes de Minas Gerais. Como toda outra de seu segmento, procura diminuir ou controlar a incidência deste fenômeno na sua linha de produção, denominada redução 03 que comporta uma linha de fornos ligados em série com capacidade produtiva de 75 toneladas por dia de alumínio primário (alumínio em seu estado líquido).

Nesta busca incessante, várias medidas se tornaram necessárias, como as melhorias nas práticas operacionais, desenvolvimento de novos equipamentos e automação no sistema de controle de tensão dos fornos, aqui denominado *Score*. Em meados do ano de 2012, o setor de melhoria contínua da *Novelis* desencadeou um projeto de melhoria contínua usando a ferramenta DMAIC, para que levasse a frequência de efeitos anódicos por dia, para um patamar menor de consumo em torno de 15% com base nos números de frequência de efeitos até aquela data.

3.2. Análises Estatísticas e Técnica

O propósito do controle estatístico do processo é indicar quando um processo está funcionando de forma ideal. Neste caso, gráficos para valores contínuos, distribuição normal e gráfico de indicação do desvio-padrão da amostra, foram utilizados. Coletaram-se dados diários durante as vinte e quatro horas, totalizando em torno de 1.280 dados, transformados para dados de 34 semanas do ano de 2012.

Com os testes de distribuição, verificou-se o comportamento dos dados amostrais, teste de hipóteses ($\alpha = 0,05$), o poder e o grau de confiança destes dados organizados, na primeira fase da metodologia DMAIC, também denominada de retrato do momento, que consiste em definir o problema. Para verificar como o processo se comportava, foram construídos os gráficos de controle para o monitoramento da variabilidade (amplitude móvel) e da média (medida individual) de Shewhart, com $k = 3$ e $n = 1$.

3.3. Proposta do Projeto

O projeto objetiva reduzir a incidência dos efeitos anódicos da redução 03, a um patamar de 15% sem que haja investimentos consideráveis, mas que garantem as operações com qualidade, segurança e assertividade, embasadas nas observações, coleta e avaliações estatísticas dos dados.

4. Resultados e Discussão

Para a interpretação dos objetivos do trabalho, considerou-se que o tamanho da amostra foi satisfatório (Poder > 0,90) e que os dados (efeitos anódicos na redução 03) assumiram uma distribuição normal. Isto implicou que somente causas aleatórias estavam atuando no processo. Porém, apesar do comportamento controlado e estável (Figura 4.1a, b), ele provocava uma frequência semanal relativamente alta de efeitos anódicos, se atrelada aos custos de produção.

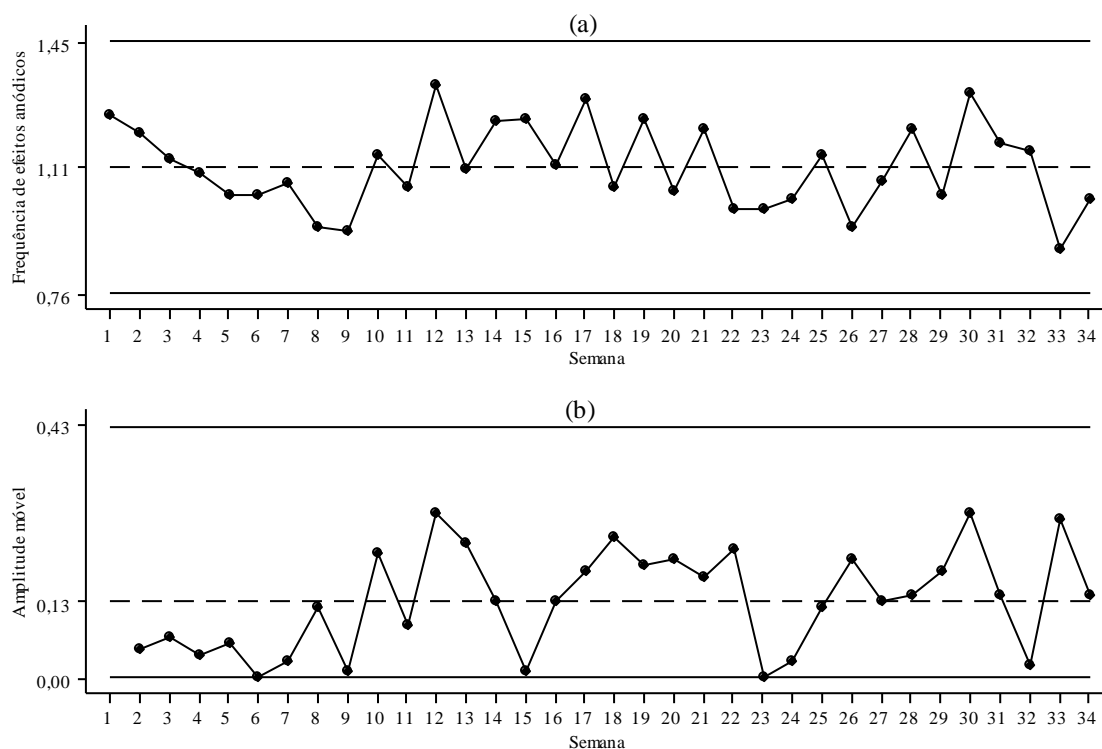


Figura 4.1 - Gráficos de controle da medida individual (a) e da amplitude móvel (b) para a frequência de efeitos anódicos.

Em primeira instância, a equipe técnica se dispôs a relacionar as possíveis causas que poderiam viabilizar o projeto. Assim, após um *brainstorming* (Tabela 4.1), ela passou a visualizar a área onde a atuação deveria ser enfatizada.

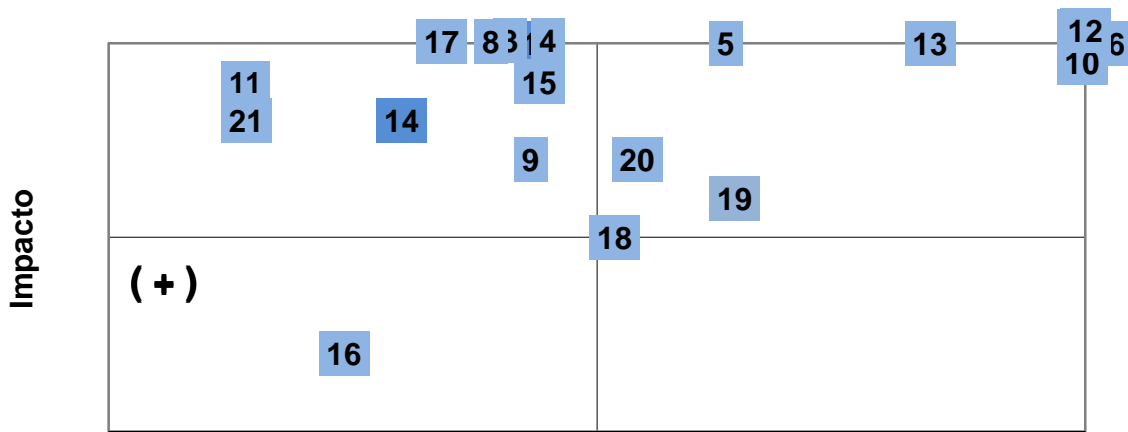
Tabela 4.1 - Resultados simplificados do *brainstorming*

Falta de alumina no banho	Química de banho (acidez, temperatura e voltagem)
Falta de alumina na fábrica	Qualidade da alumina (granulometria)
Qualidade da retirada de efeito	Ciclo de quebra de cabeceiras
Qualidade de quebra de crosta	Desligamento da linha
Falta de equipamentos	Nível de líquidos (metal, banho e eletrolítico)
Falta de mão de obra	Qualidade e quantidade de varas para retirar o efeito anódico
Falta de buraco de gás	Horário de refeição e troca de turno
Treinamento do operador em lógica, <i>Score</i> e procedimentos	Aferição dos carros de carga
Habilitação dos operadores em equipamentos	Requebrada
Modulação	Atraso de corrida do ciclo anódico

A partir da reunião com o *brainstorming*, foi feita a análise de priorização (Tabela 4.2), a relação entre o esforço e o impacto (Figura 4.2), o diagrama de causa e efeito (Figura 4.3) com a ajuda da ferramenta 5W2H e o gráfico de Pareto para as causas (Figura 4.4).

Tabela 4.2 - Análise de priorização

Prioridade	Problema	Nota 1	Nota 2
1	Falta de alumina no banho	4	10
2	Falta de alumina na fábrica	10	10
3	Qualidade de retirada de efeito	4	10
4	Qualidade de quebra de crosta	4	10
5	Falta de equipamentos	6	10
6	Falta de mão de obra	10	10
7	Falta de buraco de gás	10	10
8	Treinamento de operadores Lógica / <i>Score</i> / Procedimentos	4	10
9	Habilitação dos operadores em equipamentos	4	7
10	Modulação	10	10
11	Química de banho (Acidez / Temperatura / Voltagem)	1	9
12	Qualidade de alumina (Granulometria)	10	10
13	Ciclo de quebra de cabeceiras	8	10
14	Desligamento de linha	3	8
15	Nível de líquidos (Metal + Banho Eletrolítico)	4	9
16	Qualidade e quantidade de varas para retirada de efeito anódico	2	2
17	Horário de refeição e troca de turno	3	10
18	Aferição dos carros de carga	5	5
19	Requebrada	6	6
20	Atraso de corrida	5	7
21	Ciclo anódico	1	8



ESFORÇO vs IMPACTO

Figura 4.2 - Relação entre o esforço e o impacto.

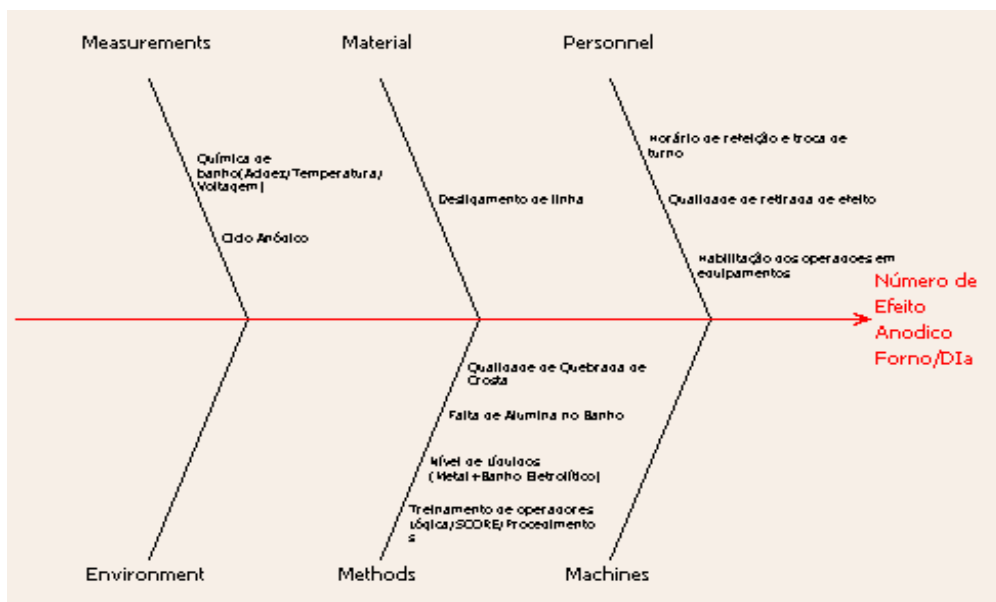


Figura 4.3 - Diagrama de causa e efeito.

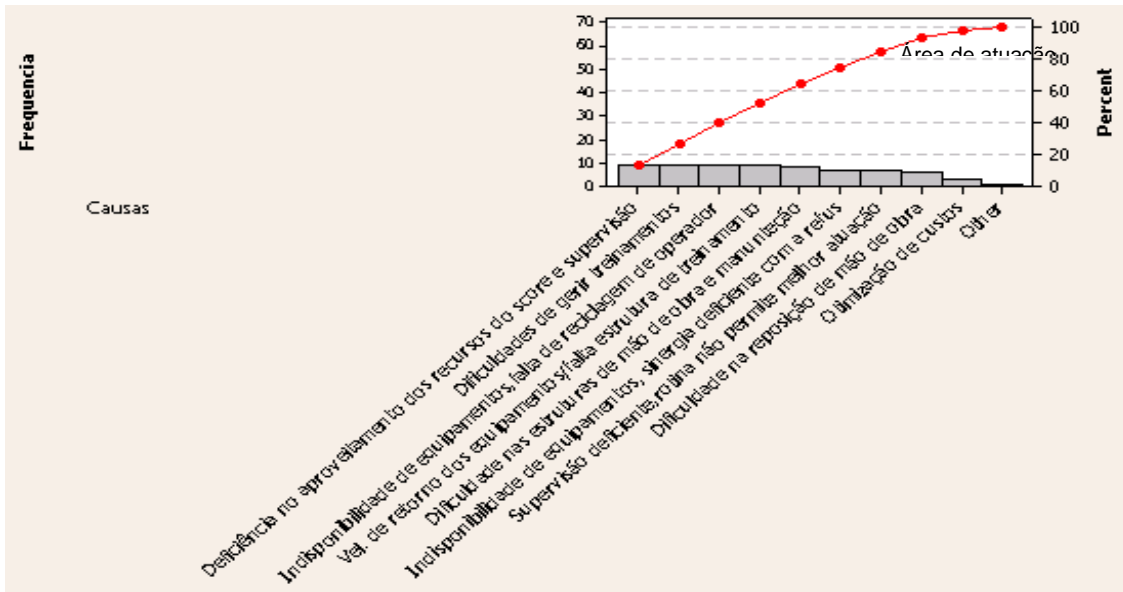


Figura 4.4 - Gráfico foco do projeto.

Na priorização demonstrada na Tabela 4.2, os itens de 1 a 7 estão diretamente ligados às práticas operacionais e, ou, às manutenções de equipamentos. Já os itens 13 e 17 estão relacionados a melhor acompanhamento, que é de competência dos supervisores da redução 03. O item 12 compete ao setor de suprimentos, que tem a responsabilidade de manter e de garantir as especificações da alumina. Logo, o item 8 (treinamento de operadores, lógica, *Score* e procedimentos) necessitava de alguma intervenção.

Na Figura 4.5 é apresentada a saída do processo, aqui denominado de *Score*, com as resistências estudadas neste projeto.

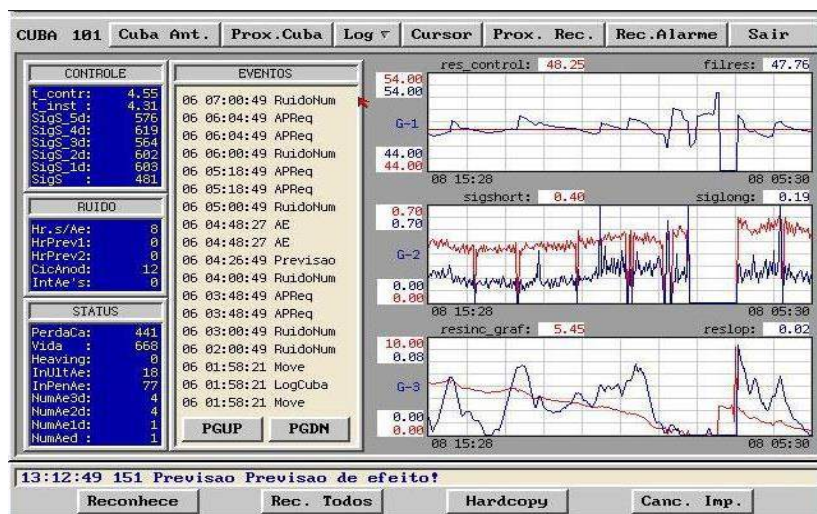


Figura 4.5 - Tela sinótica *Score*.

O *Score*, sistema automatizado de monitoramento das resistências dos fornos medidos em tempos diferentes, para atuar no controle da tensão dos fornos, foi definido em torno de 4,45 volts. Estas resistências são conhecidas como *Ressinc* (duzentos e cinquenta leituras da variação da resistência a cada dois minutos), *Reslop* (duzentos e cinquenta leituras da variação da resistência a cada cinco minutos) e *Filres* (resistência momentânea do forno).

Já na Figura 4.6, demonstra-se o algoritmo em funcionamento, os alertas luminosos e, principalmente, a mensagem de texto: previsão de efeito. O comportamento das resistências mostrou-se correlacionado e à medida em que se aproximava do momento do efeito anódico, sofria uma mudança que poderia se tornar um sinal da futura ocorrência do efeito anódico. Esta mudança foi equacionada em um modelo matemático, que por sua vez suportou um algoritmo, cuja saída aciona um alerta luminoso e uma mensagem de texto na tela do computador, alertando quanto à possibilidade de se prever o efeito anódico em tempo hábil para a atuação do operador, evitando assim, a manifestação deste efeito.

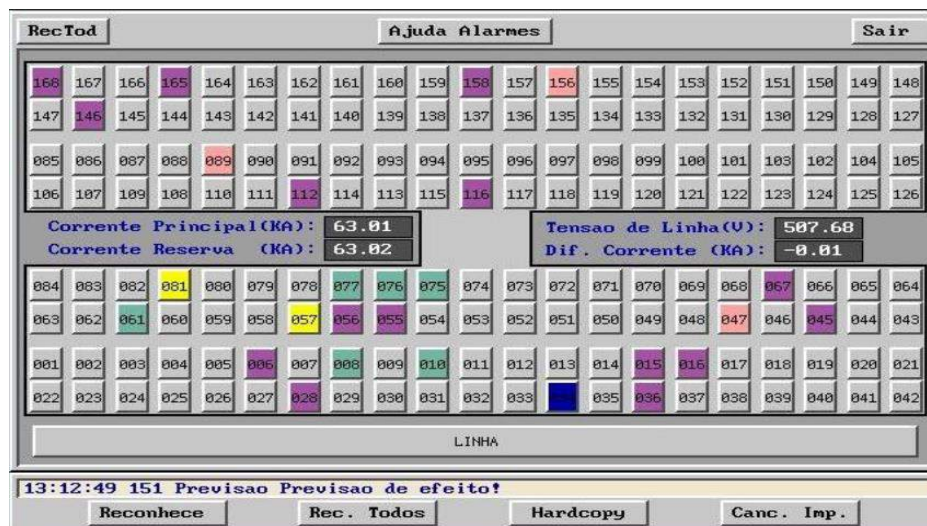


Figura 4.6 - Uma demonstração do algoritmo atuando nos fornos.

5. Considerações Finais

Por meio da utilização da ferramenta de análise e priorização, concluiu-se que as áreas de foco de atuação do projeto tangiam as práticas operacionais e de controle dos parâmetros técnicos, onde se vislumbrou uma oportunidade de aprimoramento no controle do computador de processo (*Score*) da linha de fornos. Entendida a situação, passou-se a estimular as reciclagens dos operadores nas práticas operacionais e a verificar o que a ferramenta *Score* poderia oferecer de oportunidade de aperfeiçoamento.

Com a implementação do algoritmo proposto (*Score*), foi registrado já no primeiro ano, uma frequência de efeito anódico de 0,96 efeitos por forno por dia, muito melhor do que a frequência média ocorrida no início do projeto, de 1,11.

6. Referências Bibliográficas

ANDRADE, SÉRGIO BELISÁRIO DE. Influência da qualidade da Alumina no processo de redução e lavagem de gases, CDIT (Centro de Documentação Técnica da Novelis Ouro Preto). Jan 1990.

ANJOS, FERNANDO VERSIANE DOS. Metalurgia do Alumínio, Editado pela área de Metalurgia da UFOP, 1977.

CHOWDHURY, Subir, The Power of Six Sigma, 2001, Dearborn Trade.

GEORGE, MICHAEL L., Lean Six Sigma, 2002, McGraw-Hill.

Handbook of aluminum Electrometallurgy. Vol. I. Arvida: Alcan Research and development limited, 1971.