

UPGRADE DO CONTROLE DA PRECIPITAÇÃO DA REFINARIA DE ALUMINA DA VOTORANTIM METAIS/ CBA¹

Wagner da Silva Guerra²
Daniel Cavichioli³
Cristiane Yahara Seko³
Roberto Seno Júnior⁴
Rodrigo Aparecido Moreno⁵
Rodrigo Santos³
Marco Aurélio Moura²
Daniel Soares²
André Arantes²

Resumo

Entre 2006 e 2007 foi desenvolvida uma simulação da precipitação da Refinaria de Alumina, baseada no modelamento matemático dos parâmetros da planta, visando à estabilização do processo. Esse modelo obteve tamanho êxito que se tornou a principal ferramenta de controle desta etapa do processo na planta. Tendo em vista a recente pressão na cadeia de custos da indústria do alumínio, houve a necessidade de otimizar a simulação de forma a atingir novos patamares de qualidade e produtividade. O presente trabalho aborda as etapas desenvolvidas e que incrementaram o modelo matemático empregado, através da inclusão de ferramentas estatísticas para validação dos dados de entrada, de correlações para a previsão da resistência do cristal e do balanço de massa na operação de classificação do hidrato produzido. Com o *upgrade* do modelo, aumentou-se a confiabilidade do controle de processo, garantindo a operação próxima ao seu máximo de rendimento, mantendo a qualidade do produto.

Palavras-chave: Fator de aglomeração; Granulometria; Produtividade.

UPGRADE OF VOTORANTIM METALS/ CBA ALUMINA REFINERY'S PRECIPITATION CONTROL

Abstract

Between 2006 and 2007 a simulation of the Alumina Refinery's Precipitation was developed for process stabilization, based on a mathematical modeling of plant parameters. This modeling got extreme success that has become the main tool for controlling this step in the plant. In a view of the recent pressure over the aluminum industry's chain of costs, there was a need to optimize the simulation in order to achieve new quality and yield profiles. This paper approaches the steps developed to improve the current mathematical model, through the inclusion of statistical tools to validate data from plant, correlations for crystal resistance prediction and hydrate classification mass balance. With the upgraded model, process control reliability was improved, which assured an operation close to the maximum performance and with no product quality disturbances.

Key words: Agglomeration factor; Particle size; Yield.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Técnico Químico, Especialista de processo, VM / CBA, Alumínio, Brasil.

³ Engenheiro Químico, Engº de processo, VM / CBA, Alumínio, Brasil.

⁴ Engenheiro Químico, Coordenador de processo, VM / CBA, Alumínio, Brasil.

⁵ Químico, Consultor químico, VM / CBA, Alumínio, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Processo Bayer

O óxido de alumínio é a principal matéria-prima para a produção de alumínio metálico através do processo *Hall-Héroult*. A rota comercial mais comum para a produção de óxido de alumínio, também conhecido como alumina, é o chamado Processo Bayer.

A principal matéria-prima utilizada neste processo é a bauxita, um minério formado por vários minerais, sendo que os principais são os óxidos de alumínio, (mono ou tri hidratados), óxidos de ferro, principalmente hematita e goetita, óxidos de titânio e silicatos.

No Processo Bayer, o óxido de alumínio hidratado é solubilizado em uma solução de aluminato de sódio e soda cáustica, conhecido como Licor Bayer, sob alta temperatura e pressão. O tipo de óxido de alumínio hidratado é determinante para as condições em que a dissolução deverá ocorrer. Os óxidos mono-hidratados, conhecidos como boehmita ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) e diásporo ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$), necessitam de condições mais severas para sua dissolução, isto é, a mesma ocorre em temperaturas e concentrações cáusticas mais elevadas. No caso do óxido tri-hidratado, conhecido como gibsita, a dissolução ocorre em condições mais brandas. A Votorantim Metais / CBA (VM/CBA) utiliza a bauxita “gibsítica”.

A reação que representa a dissolução do óxido de alumínio tri-hidratado pode ser descrita como na Equação 1.



Após a dissolução do óxido de alumínio, o licor Bayer, supersaturado em alumina, é separado de seu resíduo insolúvel, conhecido como lama vermelha. Esta separação ocorre em decantadores atmosféricos, comumente chamados de espessadores. Como a solubilização do óxido de alumínio hidratado ocorre em temperatura e pressão superiores às ambientes, é necessário despressurizar a suspensão de licor e lama antes de enviá-la ao espessador. Esta despressurização é feita através de um conjunto de vasos de expansão e trocadores de calor que reaproveitam a energia para a própria etapa de solubilização.

No espessador, o licor é separado rapidamente da lama vermelha e segue para uma etapa de filtração de polimento (Filtração de Licor), de forma a reter as partículas sólidas residuais mais finas. A lama, por sua vez, passa por uma série de outros decantadores e filtros para recuperação de soda cáustica e alumina, antes de ser enviada para o depósito de resíduo (barragem de lama vermelha).

O licor livre da lama residual é resfriado em outra unidade de reaproveitamento de energia, composta também por trocadores de calor e vasos expansores, elevando a supersaturação, e é enviado para a etapa de precipitação.

Na precipitação, a alumina que está supersaturada no licor Bayer é precipitada na forma de hidróxido de alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), conforme o sentido inverso da reação descrita na Equação 1. O processo é realizado através de semeadura, normalmente em dois estágios.

O hidróxido de alumínio precipitado é separado em diferentes tamanhos através de hidrociclones, sendo que as frações menores retornam como sementes para a precipitação (semeadura) e as frações maiores serão calcinadas para eliminação das três moléculas de água do retículo cristalino, obtendo-se dessa forma o óxido de

alumínio, ou, a alumina SGA (*Smelting Grade Alumina* ou Alumina Grau de Redução em tradução livre).

A etapa de precipitação é responsável pela produtividade da refinaria de alumina e pelos principais parâmetros de qualidade do produto final, como o teor de sódio, a resistência e a distribuição do tamanho de partículas.

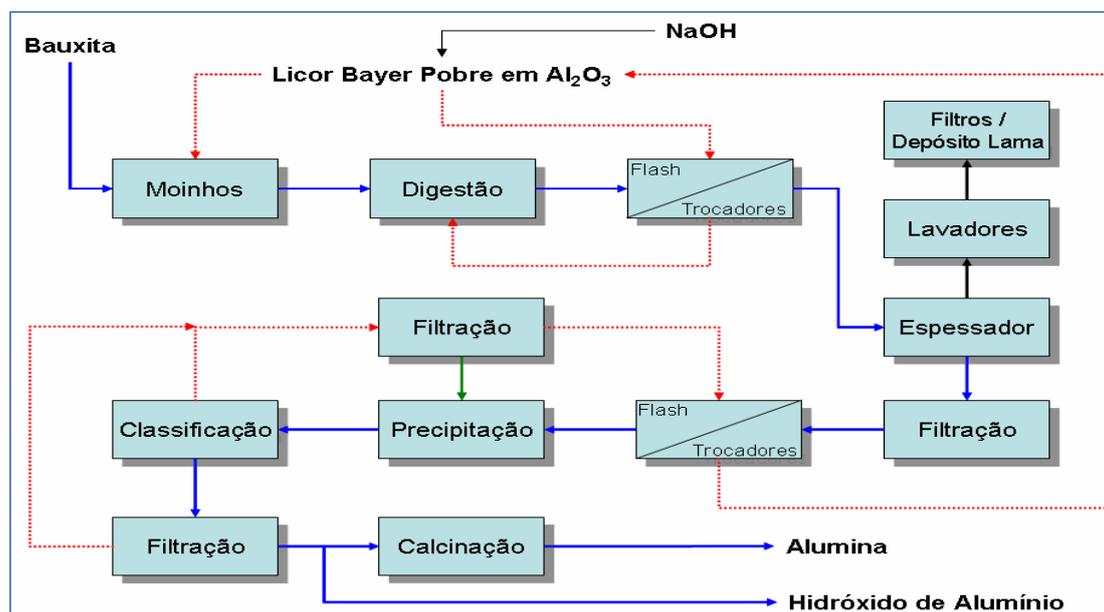


Figura 1. Processo de produção de óxido de alumínio na VM/CBA.

2 PRECIPITAÇÃO

2.1 Definição

A precipitação de trihidróxido de alumínio cristalizado (hidrato, $Al(OH)_3$) em solução de aluminato cáustico é um processo de cristalização.⁽¹⁾ Na precipitação do hidrato de alumínio, ocorre a reação inversa da digestão (equação 1), que segundo Mirsa⁽²⁾ pode ser descrita como:



Quanto menor for a temperatura de entrada na precipitação, maior será a eficiência da reação. Nesta etapa, o principal objetivo é precipitar o hidróxido de alumínio, sob condições controladas de temperatura, carga de semente, tempo de residência e concentração cáustica, para que se obtenha um produto com especificações apropriadas quanto à granulometria, teor de soda, resistência do cristal e com o menor custo possível.⁽³⁾

A recuperação da alumina no processo Bayer é largamente dependente do fato do licor de aluminato de sódio ser estável, mesmo em altos níveis de supersaturação Cornell.⁽⁴⁾ Isto permite que o licor seja enviado da saída da digestão até a entrada da precipitação praticamente sem ocorrer autoprecipitação, ou seja, a precipitação indesejada de hidróxido de alumínio.

Porém, para que esta propriedade não se transforme em uma desvantagem na etapa de precipitação, deve-se considerar outras duas propriedades do licor:

- a alta dependência da solubilidade da alumina com a temperatura; e
- o efeito catalítico da semente de hidróxido de alumínio (semeadura) na solução de aluminato de sódio.

2.2 Mecanismos de Precipitação

O processo de precipitação é caracterizado por três mecanismos principais:

- nucleação;
- crescimento; e
- aglomeração.

2.2.1 Nucleação

A nucleação ocorre em três formas distintas:

- nucleação primária homogênea: a formação do novo cristal ocorre espontaneamente sem interferência de outras partículas. Neste caso, é necessária uma alta supersaturação e a precipitação ocorre de forma desordenada;
- nucleação primária heterogênea: a formação do novo cristal ocorre induzida por partículas sólidas diferentes do soluto (exemplos: paredes de tanques, agitadores, impurezas sólidas, entre outras). Também necessita de supersaturação excessiva; e
- nucleação secundária: a formação de um novo cristal ocorre induzida por cristais previamente precipitados, o processo chamado de semeadura. Neste caso não é necessário uma supersaturação excessiva e é possível controlar o processo precipitação.

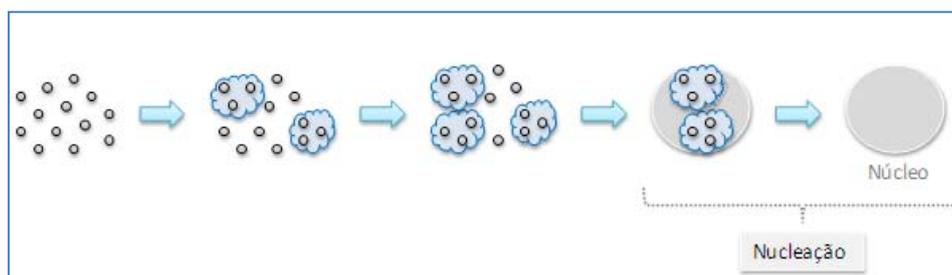


Figura 2. Representação da nucleação.

2.2.2 Crescimento

O fenômeno de crescimento dos cristais já existentes no fluxo de licor é o básico do processo de precipitação. Contempla todos os cristais presentes, ocorre em licores Bayer supersaturados e sob qualquer temperatura.

Esta etapa é constituída pela deposição de $\text{Al}(\text{OH})_3$ na superfície do cristal, formando camadas e, assim, aumentando o diâmetro do cristal.

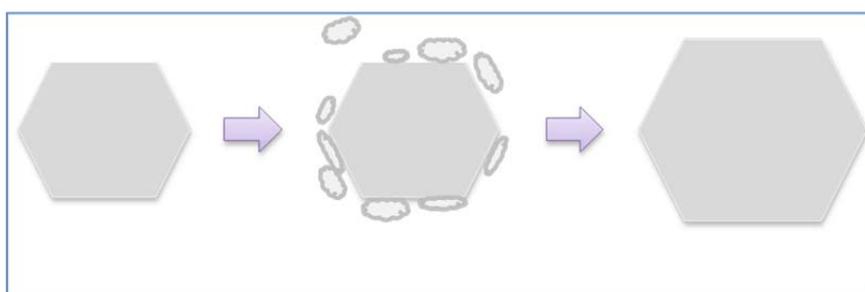


Figura 3. Representação do crescimento.

2.2.3 Aglomeração

A principal alteração de tamanho nos cristais de hidrato de alumínio se dá pela aglomeração de partículas. Nesta etapa, pequenas partículas colidem e aderem umas as outras, formando partículas maiores. A aglomeração envolve a formação de agregados soltos, que são cementados pela deposição de hidrato (Figura 4).

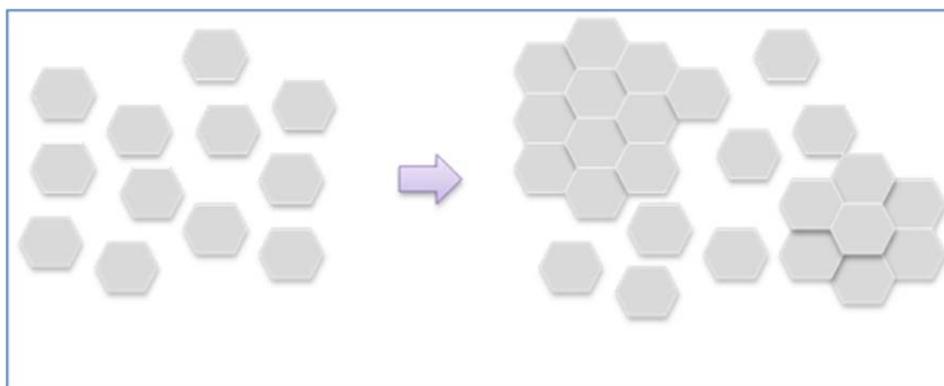


Figura 4. Representação da aglomeração.

3 NOVAS FERRAMENTAS PARA *UPGRADE* DO CONTROLE

3.1 Histórico do Problema

O principal desafio do controle da precipitação de hidrato de alumínio é o equilíbrio entre a produtividade e a qualidade do produto final. A produtividade impacta diretamente no volume de produção de uma refinaria, bem como nos principais consumos específicos da planta, tais como: energia, cal, aditivos e soda cáustica. Para o incremento da produtividade os fatores-chave são alta concentração de sólidos em suspensão e baixa temperatura, porém deve-se levar em conta a influência destes fatores na qualidade do produto final, as condições favoráveis a alta produtividade são adversas a outros objetivos como distribuição granulométrica e teor de Na_2O oclusa.

Baseado no que foi exposto acima, a filosofia de controle da precipitação tem como direcionamento maximizar a produtividade mantendo a qualidade da alumina produzida. O controle da precipitação é extremamente complexo em virtude da dinâmica lenta do processo. Os resultados dos ajustes de parâmetros podem levar até semanas para que sejam registrados e oscilações de fluxo de alimentação, de temperatura e de concentração de sólidos podem causar variações no comportamento da precipitação durante meses. Dessa forma, a previsibilidade é fundamental para o suporte das decisões de manutenção do controle e ajustes de parâmetros, de acordo com a filosofia empregada.

Para auxiliar no equilíbrio entre a produtividade e qualidade é utilizado um simulador matemático, que permite analisar dados da refinaria em tempo real. Os parâmetros obtidos pelo simulador servem como medida de avaliação e decisão no controle do processo.

Apesar de o simulador fornecer os subsídios necessários para o controle satisfatório da precipitação, a necessidade de se elevar a produtividade ao máximo possível, porém sem perder a qualidade, implicou no desenvolvimento de novas ferramentas de controle que garantem maior previsibilidade das ações a serem tomadas. O

balanço de massa da etapa de classificação de hidrato (sementes fina e grossa e produto) foi incluído no simulador, como suporte das novas ferramentas. O desenvolvimento do mesmo não será explorado neste trabalho.

O foco para o desenvolvimento de novas ferramentas foi a Aglomeração. Esta é a etapa mais importante do processo de precipitação, por regular a população de partículas finas e concentrar a maior parcela da produtividade total.

3.2 Fator de Aglomeração

O fator de aglomeração é um parâmetro utilizado como monitoramento do desempenho da etapa da Aglomeração, que pode ser expresso pela Equação 3.

$$\% AGG = 100 * \frac{A-SF}{A} \quad (3)$$

Onde:

- % AGG = fator de aglomeração;
- A = fração granulométrica passante pela peneira de 44 μ m, da saída da aglomeração; e
- SF = fração granulométrica passante pela peneira de 44 μ m, da semente fina que alimenta a aglomeração.

Este parâmetro é um indicativo do grau de consumo de partículas finas promovido pela aglomeração: quanto maior este fator, maior o consumo de finos, ou seja, maior a possibilidade de ajustar os parâmetros da planta para favorecer a produtividade. Porém com a Equação 3 não é possível mensurar qual será o desempenho da Aglomeração frente a mudanças de parâmetros.

Para aumentar a previsibilidade, foi elaborada uma correlação¹ entre os principais parâmetros de controle da área com o fator de aglomeração calculado pela Equação 4, acrescentando a temperatura e a concentração de sólidos para neutralizar o efeito do tempo de residência sobre a resposta da alteração de parâmetros.

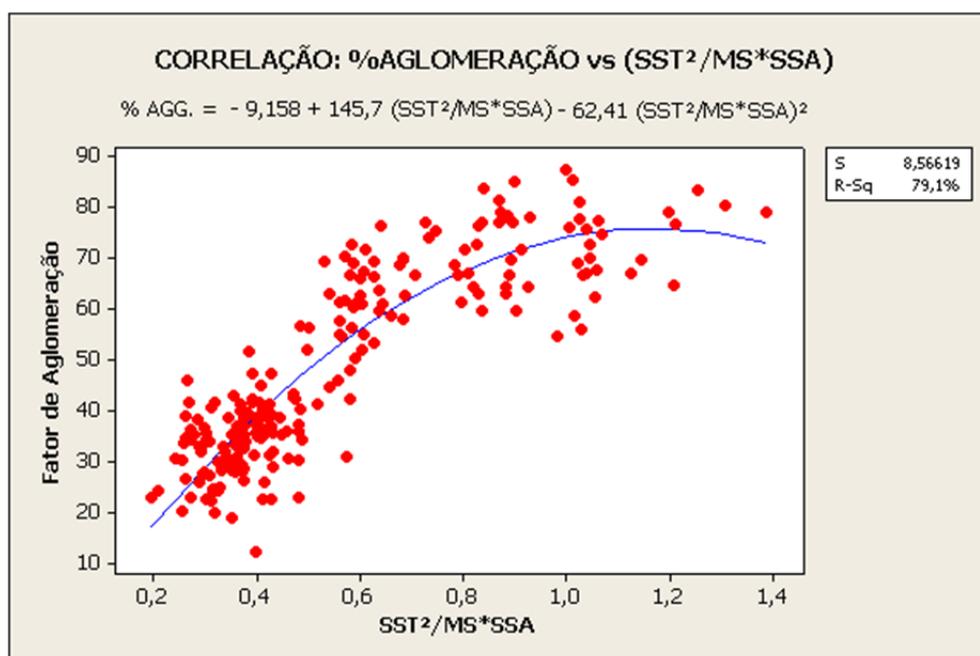


Figura 5. Modelo da correlação da Equação 4.

¹ Todo o tratamento estatístico e matemático dos dados foi realizado com auxílio do software Minitab, versão 16.

$$\% AGG \text{ corr} = -9,158 + 145,7 \left(\frac{SST^2}{MS*SSA} \right) - 62,41 \left(\frac{SST^2}{MS*SSA} \right)^2 \quad (4)$$

Onde:

- % AGG corr = novo fator de aglomeração;
- SST = supersaturação na etapa de aglomeração;
- MS = material sólido na etapa de aglomeração; e
- SSA = área superficial da semente fina que alimenta a aglomeração.

Após determinação da nova expressão do fator de aglomeração (Figura 5), foi realizada uma regressão linear, correlacionando o novo fator de aglomeração e a granulometria de semente fina (análise de laboratório, inserida na rotina de controle da planta), para prever a granulometria de saída da Aglomeração:

$$AGG - 44 = 6,55 - 0,127 AGG \text{ corr} \% + 0,475 SF \quad (5)$$

Onde AGG -44 é a fração granulométrica passante pela peneira de 44 μm , da saída da aglomeração calculada.

```

The regression equation is
AGG -44 = 6,55 - 0,127 AGG Corr % + 0,475 Fine Seed -44

Predictor      Coef      SE Coef      T      P
Constant       6,5493    0,4432     14,78  0,000
AGG Corr %    -0,126799  0,007328   -17,30  0,000
Fine Seed -44  0,47482   0,02295    20,69  0,000

S = 1,85483  R-Sq = 73,5%  R-Sq(adj) = 73,3%
    
```

Figura 6. Modelo de regressão da Equação 5.

3.3 Definição da Faixa de Controle para Granulometria de Saída da Aglomeração

Como apresentado no item 3.1, é necessário equilibrar aumento de produtividade sem prejudicar a qualidade da alumina. Com as ferramentas obtidas no item 3.2, fez-se necessário determinar os limites da granulometria de aglomeração para implementação da nova filosofia de controle. Para tanto, utilizou-se das análises estatísticas apresentadas a seguir.

3.3.1 Definição das faixas de controle

Para definição das faixas de controle, utilizou-se da análise dos dados estatísticos básicos da granulometria de saída da Aglomeração (Figura 7). Pelo que foi apresentado, o valor do primeiro quartil foi de 3,24 (3,24% -44 μm) e do terceiro quartil de 8,79% (8,79% -44 μm) passante pela peneira 44 μm . Convencionou-se que os limites seriam estabelecidos em 3,00% -44 μm , para favorecer o incremento de produtividade, e 8% -44 μm , para garantir o controle da distribuição granulométrica do produto.

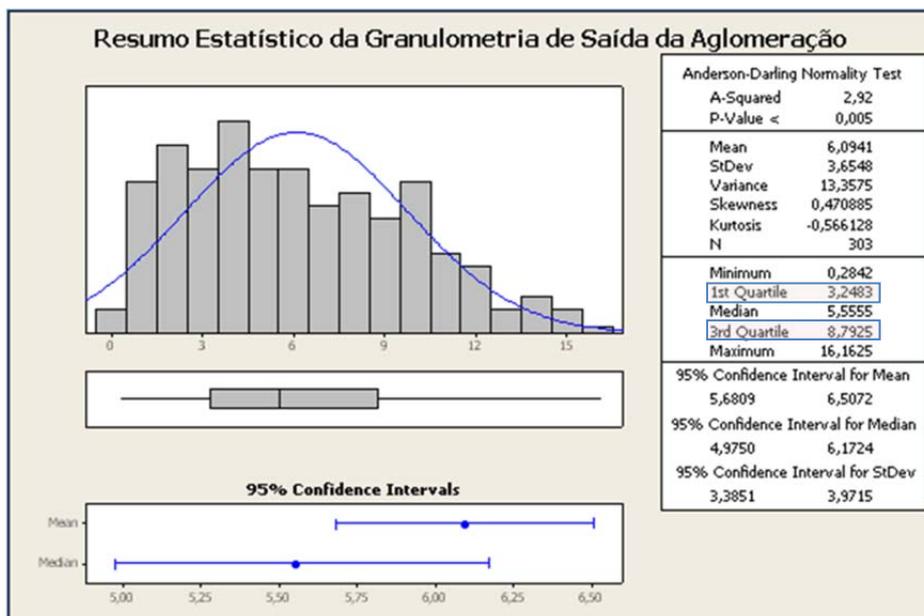


Figura 7. Resumo estatístico da granulometria da aglomeração.

3.3.2 Granulometria da aglomeração vs. granulometria do produto

A especificação da granulometria do produto é, no máximo, 10% passante pela peneira de 44 μm , porém a meta de controle para a Refinaria de Alumina da VM/CBA é de 8%, no máximo.

Primeiramente, efetuou-se o teste para a verificação da existência da correlação entre as granulometrias de saída da aglomeração e do produto.

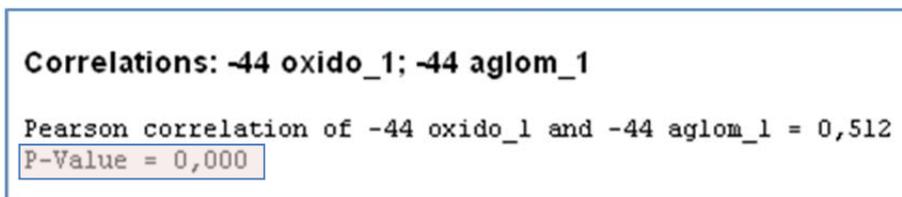


Figura 8. Teste de correlação entre granulometria do óxido e granulometria da aglomeração.

Como o valor P (*P-Value*) foi igual a 0,000, isto indica que há forte correlação entre os dados. Partiu-se, então, para a determinação de um modelo de regressão linear apresentado na Figura 9.

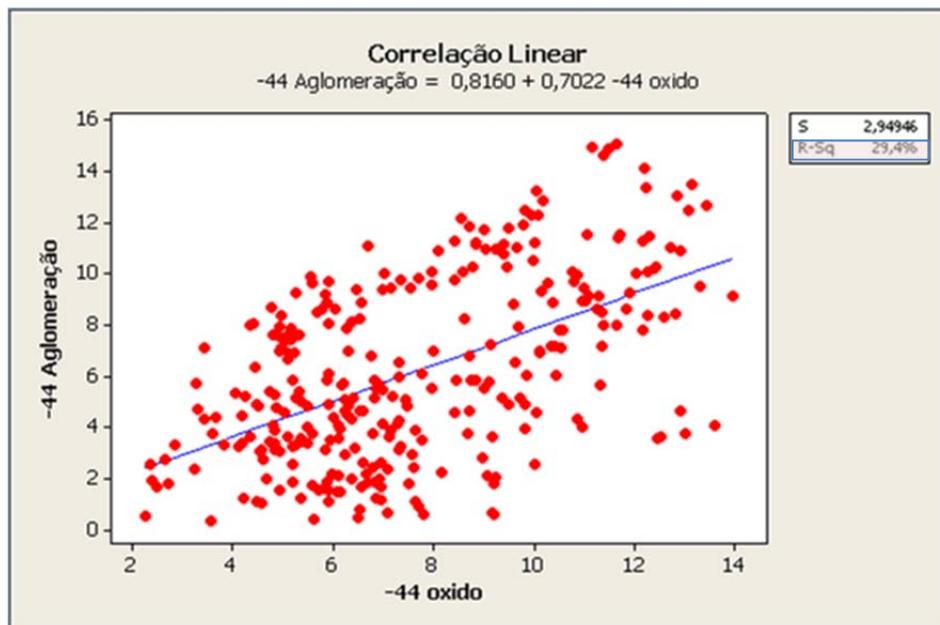


Figura 9. Gráfico da correlação linear entre a granulometria da aglomeração e granulometria do óxido.

Pelo valor do coeficiente de determinação (Figura 9), R-Sq, 29,4%, nota-se que o modelo obtido é pouco aderente, ou seja, não explica a variação da granulometria do produto pela variação da granulometria da aglomeração, mesmo após tratamento estatístico dos dados. Porém, como foi demonstrado que há forte correlação entre as variáveis, partiu-se para a discretização dos dados, estabelecendo três grupos para separação da granulometria do produto: valores correspondentes a granulometrias de saída da aglomeração menores que 3%, entre 3% e 8%, e maiores que 8% -44 μm . A avaliação do comportamento entre os subgrupos pode ser observado através do gráfico tipo *Boxplot* na Figura 10.

Após avaliação gráfica, foi realizada a análise estatística dos dados para validar as conclusões preliminares. Pelo teste de variâncias, comprovou-se que pelo menos um dos intervalos (subgrupos) apresenta desvio-padrão diferente dos demais, como pode ser observado através do valor P do teste de Levene menor que 0,05 (Figura 11).

Avaliados os desvios-padrão, prosseguiu-se com a análise das medianas, através do teste de *Mood* (Figura 12). O valor P menor que 0,05 confirma que existe pelo menos um dos intervalos com uma mediana estatisticamente diferente das demais e, através da representação gráfica, nota-se que o intervalo correspondente às granulometrias da saída da Aglomeração maiores que 8% é que apresenta o maior valor de mediana, isto é, com granulometria de saída da Aglomeração superiores a 8% -44 μm há o risco de perda de controle de granulometria do óxido acima da meta.

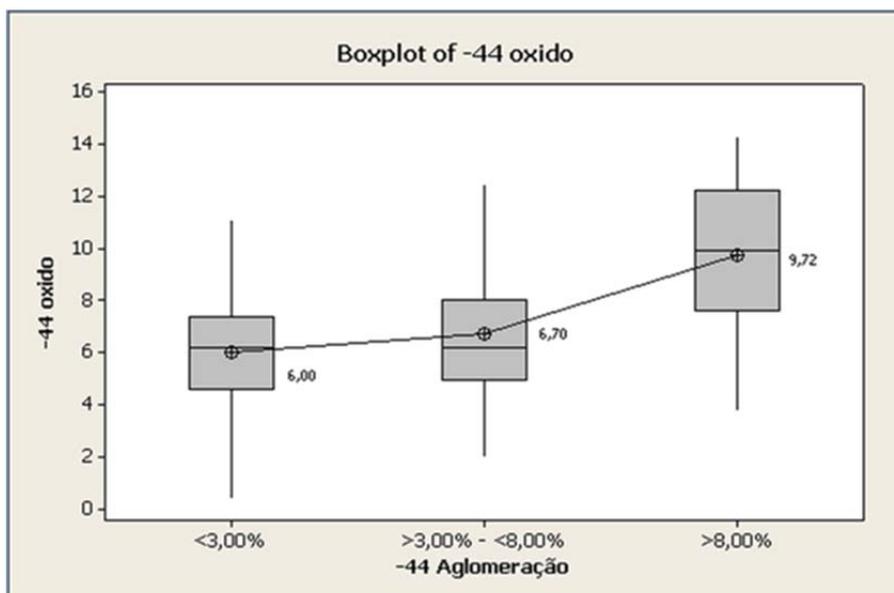


Figura 10. Boxplot da granulometria do óxido pela granulometria da aglomeração.

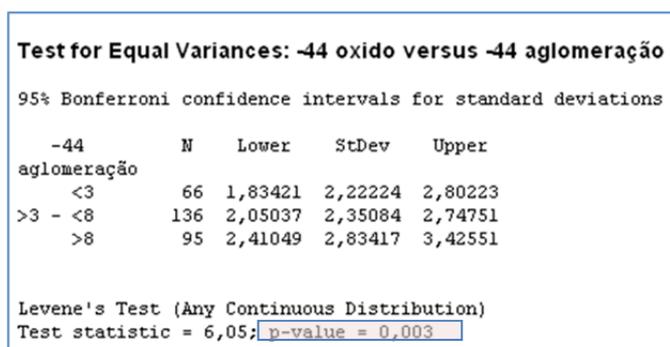


Figura 11. Teste de igualdade de variâncias.

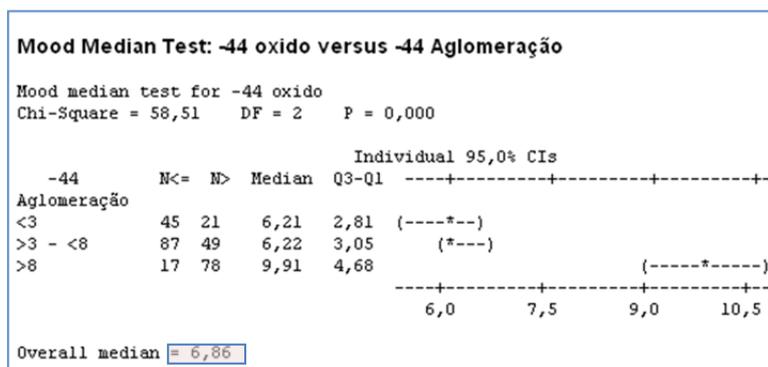


Figura 12. Teste de medianas de mood.

3.3.3 Granulometria da aglomeração vs. produtividade

Se no item 3.3.2 foi encontrado qual o limite máximo de granulometria da saída da aglomeração que garante ao controle da qualidade do produto, foi necessário encontrar o limite mínimo de granulometria da saída da aglomeração para maximizar a produtividade.

Da mesma forma que o realizado no item anterior, efetuou-se o teste para a verificação da existência da correlação entre a granulometria de saída da aglomeração e a produtividade (Figura 13). Como o valor P (P-Value) foi igual a

0,000, há forte correlação entre os dados. Com isso, prosseguiu-se com a determinação de um modelo de regressão linear (Figura 14).

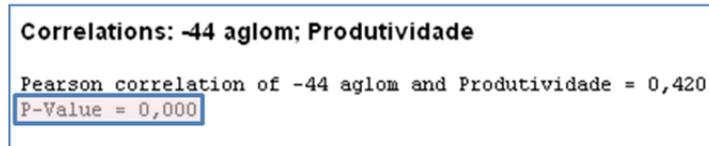


Figura 13. Correlação entre granulometria da aglomeração e produtividade.

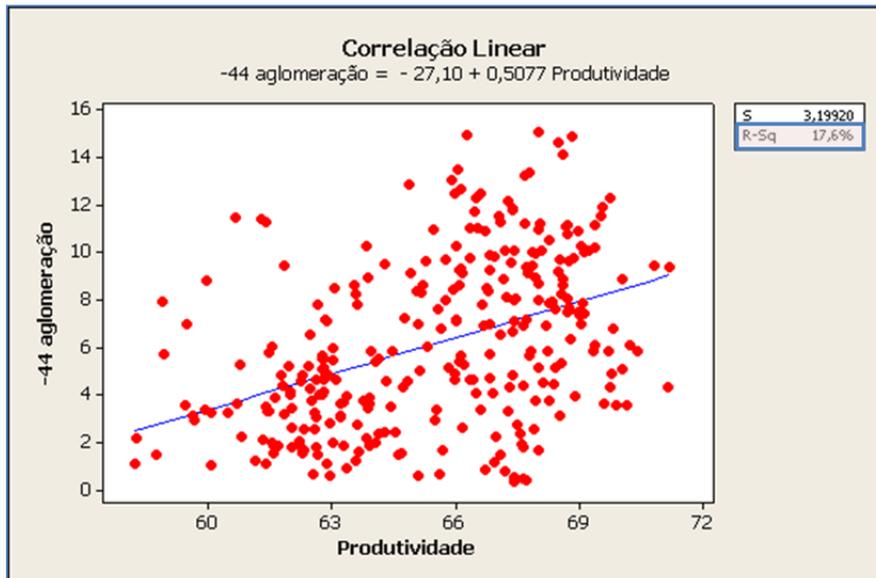


Figura 14. Correlação linear entre granulometria da aglomeração e produtividade.

Com o coeficiente de determinação (R-Sq) de 17,4%, nota-se a pouca aderência do modelo matemático, mesmo após tratamento estatístico dos dados. Entretanto, como há forte correlação entre as variáveis, partiu-se novamente para a discretização dos dados, estabelecendo 2 grupos para separação da produtividade: valores correspondentes a granulometrias de saída da aglomeração menores que 3% e entre 3% e 8%. O intervalo de granulometrias maiores que 8% -44 μm foi excluído pelo exposto no item 3.3.2. A avaliação do comportamento entre os subgrupos pode ser observada através do gráfico *Boxplot* (Figura 15).

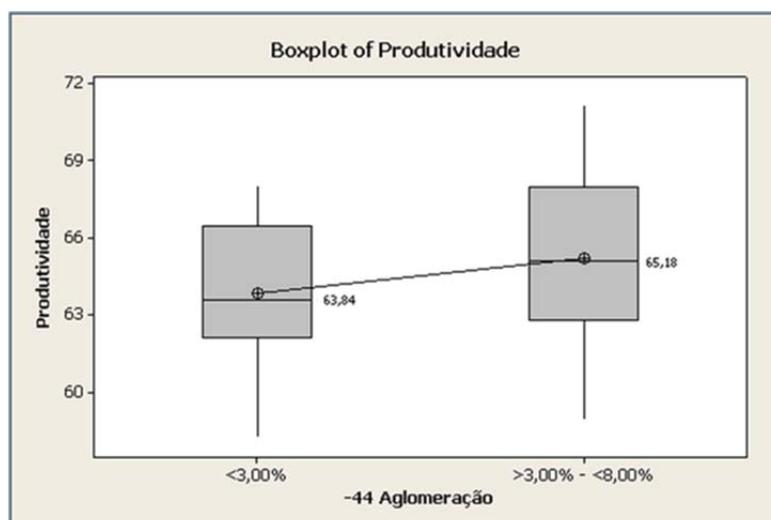


Figura 15. *Boxplot* da produtividade pela granulometria da aglomeração.

Após avaliação gráfica, foi realizada a validação estatística das conclusões preliminares. Pelo teste de variâncias, foi comprovado que os intervalos apresentam desvios-padrão estatisticamente diferentes, como pode ser observado na Figura 16, através do valor P do teste de Levene menor que 0,05.

Avaliados os desvios-padrão, prosseguiu-se com o teste hipótese 2-sample-t (Figura 17) para avaliação das médias. Como o valor P é menor que 0,05, os intervalos apresentam uma média estatisticamente diferente entre si. Com isso, o intervalo correspondente às granulometrias da saída da Aglomeração menores 3% é o que apresenta o menor valor médio de produtividade, isto é, com granulometria de saída da Aglomeração inferiores a 3% -44 μm há perda de produtividade da precipitação.

Tests				
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
Levene's Test (any continuous)	1	200	5,79	0,017

Figura 16. Teste de igualdade de variâncias.

Two-Sample T-Test and CI: Produtividade_1(m3)_<3; Produtividade_1(m3)_>3 - <8				
Two-sample T for Produtividade_-44 aglomeração <3,00% vs Produtividade_-44 aglomeraçã >3,00% - -44 aglomeraçã <8,00%				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Produtividade_1(m3)_<3	61	63,85	2,62	0,33
Produtividade_1(m3)_>3 -	141	65,18	3,05	0,26
Difference = mu (Produtividade_<3) - mu (Produtividade_>3 - <8)				
Estimate for difference: -1,332				
95% CI for difference: (-2,166; -0,497)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3,16 P-Value = 0,002 DF = 131				

Figura 17. Teste de hipóteses para as médias.

4 RESULTADOS

Para análise dos resultados, foi considerado um *baseline* de 01/12/10 a 13/06/11, denominado período “Antes” e de 14/06/10 a 20/09/11, denominado período “Depois”, ou seja, após a implantação da nova filosofia. Cada dado representa a média móvel de 3 dias, de forma a eliminar os ruídos mais intensos provenientes de uma coleta de dados diária. Para avaliar os resultados foi realizado o tratamento estatístico dos dados, através de testes de hipótese das variâncias e das médias sobre a granulometria da Aglomeração, do produto e produtividade da Precipitação.

4.1 Impacto Sobre o Controle da Distribuição Granulométrica da Saída da Aglomeração

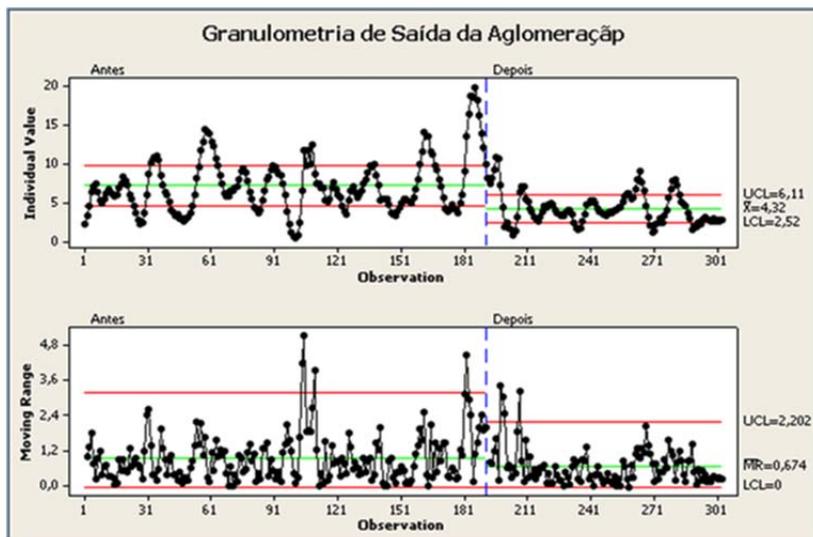


Figura 18. Carta CEP - evolução da granulometria da aglomeração antes e depois da implantação das ações.

As Figuras 19 a 21, analisam estatisticamente o período antes e depois da implantação da nova filosofia.

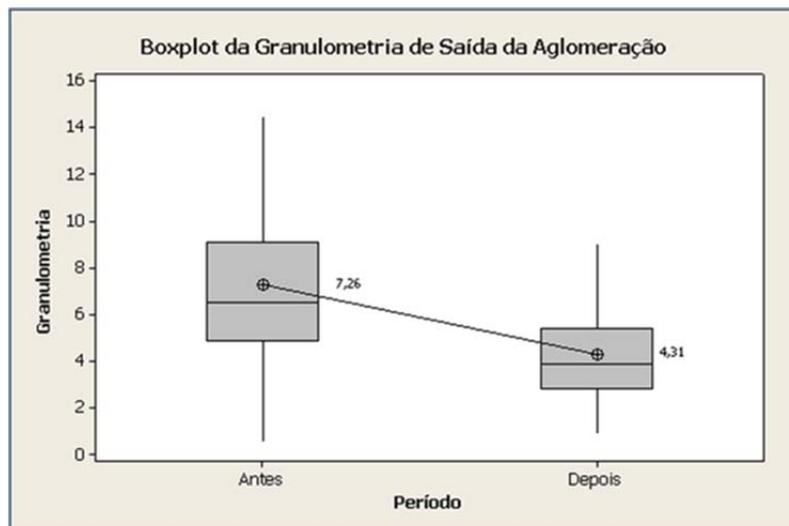


Figura 19. Boxplot - granulometria da aglomeração antes e depois da implantação das ações.

Tests				
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
Levene's Test (any continuous)	1	301	17,22	0,000

Figura 20. Teste de igualdade de variâncias.

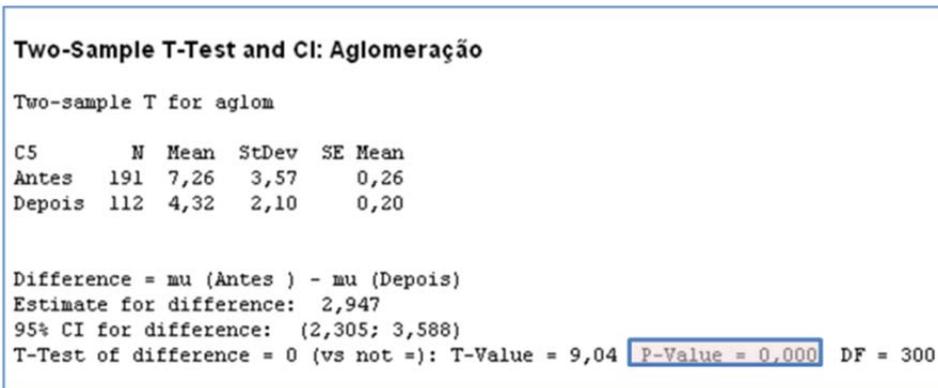


Figura 21. Teste de hipóteses para as médias.

De acordo com os resultados dos testes de hipótese (valor P menor que 0,05 no teste de variâncias (Figura 20) e no de médias (Figura 21), comprova-se que há diferença estatística entre os períodos antes e depois e que a média da granulometria -44 μm da saída da Aglomeração tornou-se menor com o novo controle.

4.2 Impacto Sobre o Controle da Distribuição Granulométrica Produto

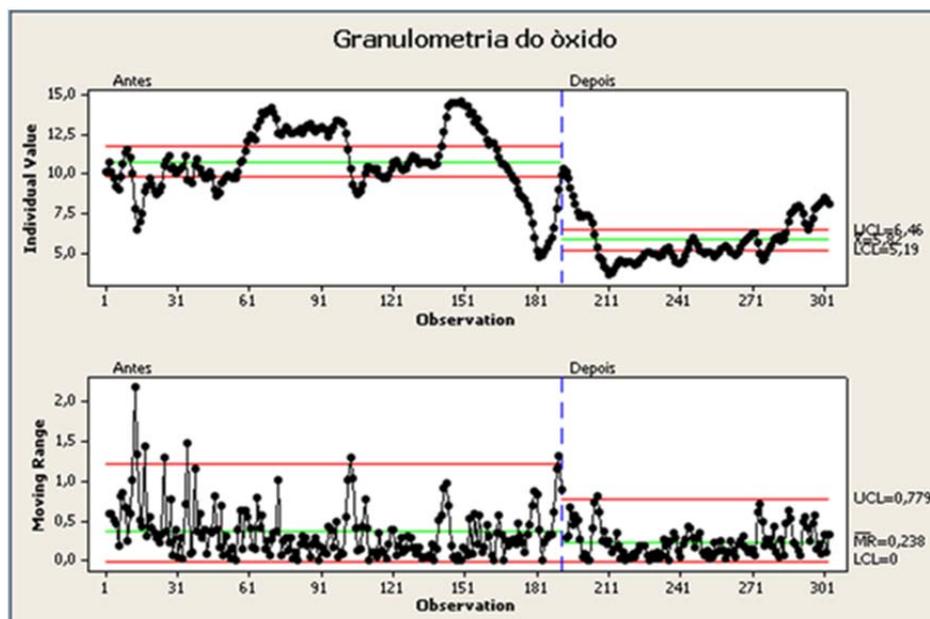


Figura 22. Carta CEP - evolução da granulometria do óxido antes e depois da implantação das ações.

As Figuras 23 a 25, analisam estatisticamente o período antes e depois da implantação da nova filosofia.

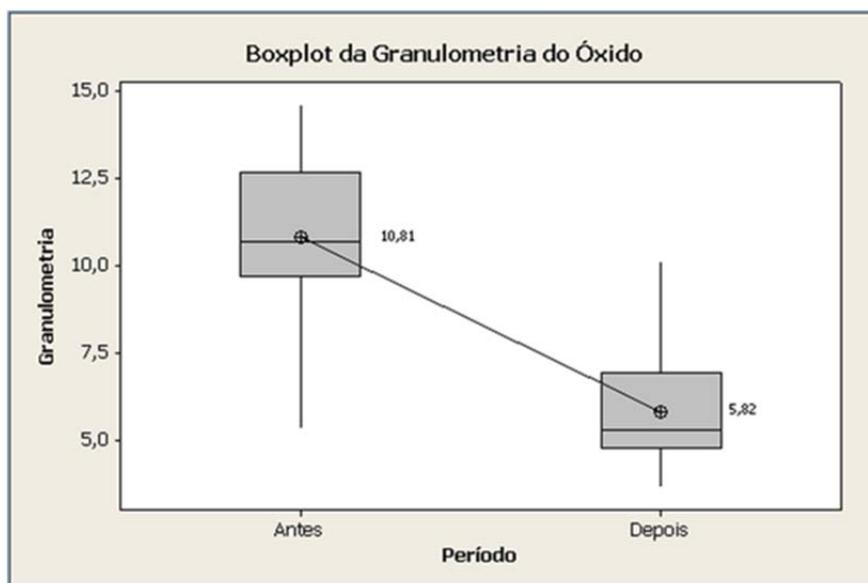


Figura 23. Boxplot - granulometria do óxido antes e depois da implantação das ações.

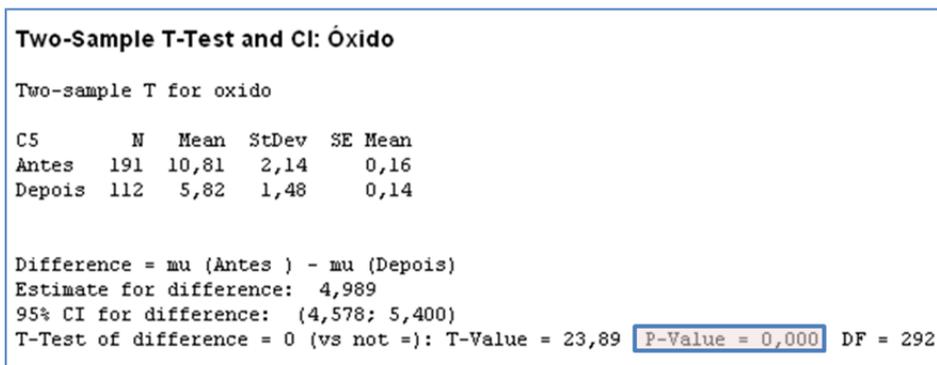


Figura 24. Teste de hipótese para as médias.

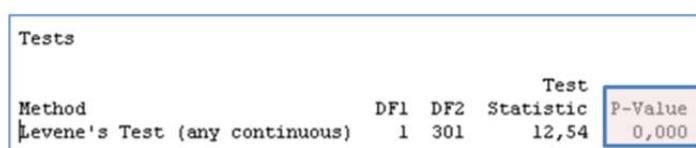


Figura 25. Teste de igualdade de variâncias.

De acordo com os resultados dos testes de hipótese (valor P menor que 0,05 no teste de variâncias (Figura 24) e no de médias (Figura 25)), comprova-se que há diferença estatística entre os períodos antes e depois e que a média da granulometria -44 μm do produto tornou-se menor com o novo controle, estabilizando-se abaixo da especificação (10% - 44 μm).

4.3 Impacto Sobre Produtividade da Precipitação

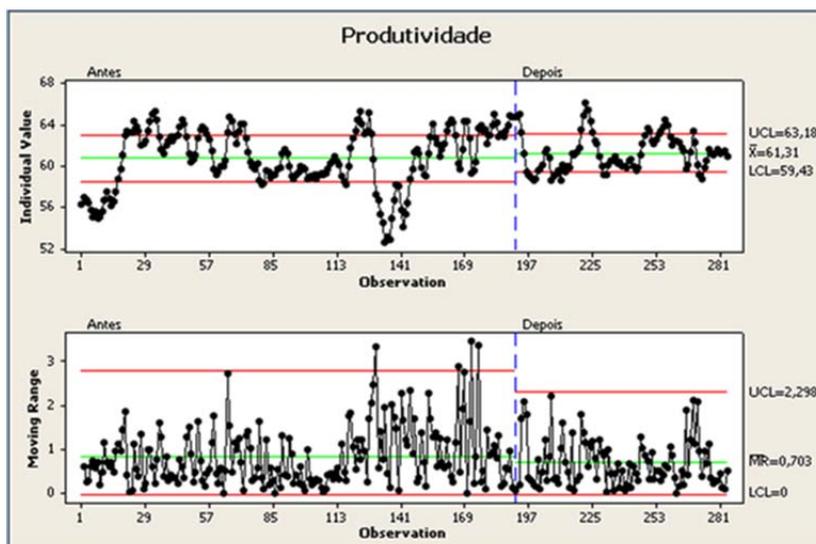


Figura 26. Carta CEP - evolução da produtividade antes e depois da implantação das ações.

As Figuras 27 a 29, analisam estatisticamente o período antes e depois da implantação da nova filosofia.

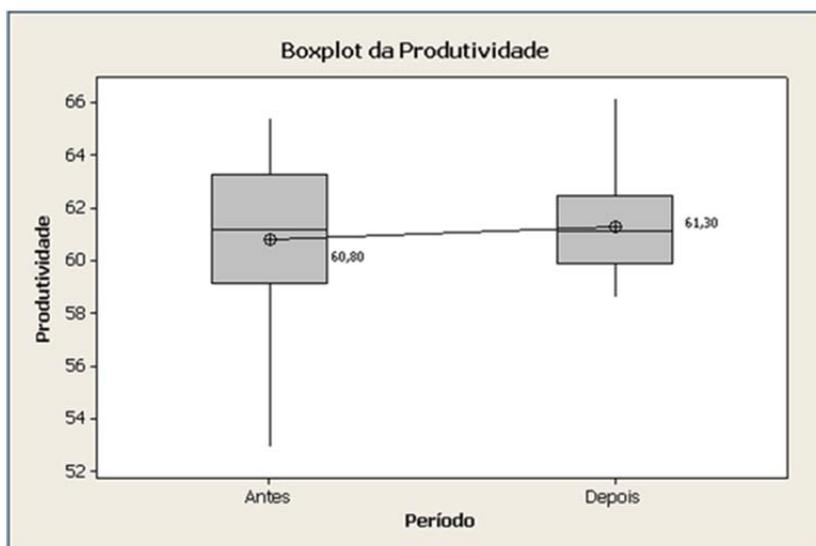


Figura 27. Boxplot - produtividade antes e depois da implantação das ações.

Two-Sample T-Test and CI: PRODUTIVIDADE

Two-sample T for PRODUTIVIDADE

C8	N	Mean	StDev	SE Mean
Antes	191	60,81	2,93	0,21
Depois	93	61,31	1,78	0,18

Difference = mu (Antes) - mu (Depois)
 Estimate for difference: -0,498
 95% CI for difference: (-1,050; 0,055)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,77 **P-Value = 0,078** DF = 268

Figura 28. Teste de hipótese para as médias.

Tests				
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
Levene's Test (any continuous)	1	282	27,63	0,000

Figura 29. Teste de igualdade de variâncias.

De acordo com o resultado dos testes de hipótese das médias (Figura 28), comprova-se que não há diferença estatística entre os períodos antes e depois. Entretanto, pelo resultado do teste de hipótese das variâncias, comprova-se que a variância após a implantação do novo controle é estatisticamente diferente do período anterior e menor.

5 CONCLUSÕES

A nova filosofia de controle da Precipitação, baseada na estabilização da granulometria de saída da Aglomeração, mostrou-se eficaz para estabilização do perfil de produtividade, pela redução do desvio padrão do parâmetro. Além disso, obteve-se ganho significativo no controle da granulometria do produto.

Com a granulometria do produto sob controle, o próximo passo será conduzir os parâmetros de controle da precipitação no sentido de elevar sua produtividade, fator essencial para redução do custo operacional da Refinaria de Alumina.

REFERÊNCIAS

- 1 White, E. T., and Bateman, S. H. 1988. Effect of Caustic Concentration on the Growth Rate of $Al(OH)_3$ Particles. *Light Metals*, 157-162.
- 2 Misra, C. 1970. Solubility of Alumina Trihydrate (Hydrargillite) in Sodium Hydroxide Solutions. *Chemistry & Industry (London)*, 20, 619-623.
- 3 Steemson, M. L., and White, E. T. A Theoretical Study of the Performance of High Solids Precipitator. *Light Metals*, 163-169
- 4 Cornell, R. M., Pannette, D. S., Clarke, P. C., Sullivan, N. S., and Baily, C. M. 1999. Precipitation of Gibbsite: Development of a New Rate Equation. Paper Presented at Fifth International Alumina Quality Workshop. Bunbury (Australia), March 1999.