



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

WANDERLEY TRAJANO DE SOUZA

**MONITORAMENTO DA VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO DE
FOSFATO CONCENTRADO COM O USO DA ESPECTROMETRIA DE
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X**

ARAXÁ-MG

2017

WANDERLEY TRAJANO DE SOUZA

**MONITORAMENTO DA VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO DE
FOSFATO CONCENTRADO COM O USO DA ESPECTROMETRIA DE
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Natal Junio Pires.

ARAXÁ-MG

2017



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL / ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO ALUNO **WANDERLEY TRAJANO DE SOUZA**

Às 16 horas e 30 minutos do dia 05 de julho de 2017, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **Monitoriamento da variabilidade na produção de fosfato concentrado com o uso da espectrometria de fluorescência de Raios X**, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, *Prof. Dr. Natal Junio Pires*, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado APROVADO com nota final de: 72 / 100 (SETENTA E DOIS pontos em cem pontos).

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é de sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar violando direitos de terceiros.

WANDERLEY TRAJANO DE SOUZA - Wanderley Trajano de Souza - Araxá, 05 de julho de 2017.
Nome do Aluno Assinatura Local e Data

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 05 de julho de 2017.

Prof. Dr. Natal Junio Pires
Orientador

Frederico Duarte Fagundes
Prof. Me. Frederico Duarte Fagundes
Avaliador

Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende
Avaliador

Prof. Dr. Wanderley Alves Parreira
Avaliador/Suplente

DEDICO ESTE TRABALHO

Primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, disciplina e perseverança o que tornou possível o meu sonho. Aos meus pais que um dia idealizaram e tudo fizeram para minha educação. Aos meus queridos irmãos, sobrinhos e esposa que sempre me estimularam a alcançar esse propósito.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela luz em meu caminho, saúde, perseverança e disciplina que me fizeram superar os períodos difíceis e paciência para não cair em desânimo nos momentos de incertezas.

Aos meus pais que um dia planejaram e não mediram esforços para a educação de seus filhos, graças a vocês hoje meu sonho foi alcançado. Essa vitória é nossa.

Aos queridos irmãos e sobrinhos, vocês fizeram a diferença nessa conquista.

A minha esposa pelo empenho, dedicação e esforços não medidos nos estímulos, sobretudo pela compreensão nos momentos em que estive ausente. Obrigado pelo companheirismo, sem você a jornada seria impossível.

Aos professores do CEFET, pela dedicação, conhecimento e compreensão.

*O saber a gente aprende com os mestres e os livros.
A sabedoria, se aprende é com a vida, e os humildes.*

Cora Coralina

RESUMO

Uma unidade de mineração produz fosfato concentrado a partir da rocha fosfática. O minério extraído então, é beneficiado e segue para o seu cliente final, que a partir dele e outros insumos fabricam fertilizantes nas mais variadas formulações químicas de acordo com a demanda do setor agroindustrial. O seu beneficiamento consiste em elevar a concentração do óxido P_2O_5 do minério que alimenta o processo com um teor médio de 9,0 %, para um teor médio final em torno de 35,0 %, sendo esse segundo a concentração ideal para o produto final, o Fosfato Concentrado. O processo de concentração descrito é de difícil padronização em função da heterogeneidade físico-química do minério, e variáveis de processo, o que influencia diretamente no seu beneficiamento. O seu comportamento nas etapas do processo produtivo, sobretudo moagem e flotação variam muito, ou seja, as variáveis com um bom desempenho de uma pilha que alimenta a usina, e quase sempre não serão as mesmas para a próxima que entra para ser beneficiada. Este trabalho é uma investigação sobre os parâmetros operacionais que podem melhorar a produção de forma a superar o ritmo convencional, através dos resultados das análises físicas de granulometria e químicas do Espectrômetro de Fluorescência de Raios X informados ao processo. Os resultados deste trabalho mostram que o monitoramento realizado no processo, bem como as tomadas de decisão dele decorrentes, ocasionou um aumento médio de 15,5 % na produção durante o período estipulado, o que reflete em aumento da massa produzida do fosfato concentrado, o que obviamente traz um aumento da vida útil do recurso mineral.

Palavras-chaves: Fertilizantes. Óxido. Fosfato Concentrado. Análise. Espectrômetro de Fluorescência de Raios X.

ABSTRACT

A Mining Unit produces phosphates-concentrates from phosphate rock, then this mineral is processed and sent to its final client, it is from this mineral and some other insumes that fertilizers are manufactured in a great variety of chemical formulations, following the demand needed in agribusiness. This process mainly aims to raise the P_2O_5 oxide concentration of the ore mining which holds its concentration from an average of 9,0 % up to 35,0 % , considering the last one an ideal result for phosphates-concentrates as a final product. This concentration process is considered a hard standard due to the mining physicochemical heterogeneity and variants, what inflences on the ore processing. Along the fases of the production, specially the grinding and flotation, its behaviour has altered a lot, it means that the variants in a good performance of piles chain, which feeds the factory, are not always the same next ones which are being prepared to start the process. This paper is an examination of operational parametres that may improve the production in order to overcome the conventional rates, over the results of Spectometrer X-rays Fluorescence granulometry and chemical-physical analyses informed to the process. Outcoming, this search shows that the monitoring led along the process, as well as the decisions taken, caused an averaged raise of 15,5% in production during the period observed. It must reflect in a rise of phosphates-concentrates mass grown and consequently making the mineral resource life longer.

Key-words: Fertilizers. Oxide. Phosphates-Concentrates. Analyse. Spectometrer X-rays Fluorescence.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Indicadores do Setor de Fertilizantes.....	15
Figura 2 - Fluxograma de Produção do Fosfato Concentrado a partir da Rocha Fosfática.....	17
Figura 3 - Fosfato Concentrado.....	20
Figura 4 - Formulações dos Fertilizantes.....	21
Figura 5 - Energia liberada na forma de raios X.....	22
Figura 6 - Energia liberada na forma de raios X.....	23
Figura 7 - Transições eletrônicas de um elemento químico.....	24
Figura 8 - Composição básica: espectrômetro de dispersão por comprimento de onda WDXRF.....	25
Figura 9 - Composição básica: espectrômetro de dispersão de energia EDXRF.....	26
Figura 10 - Fluxograma de amostragem e distribuição das alíquotas para análises físicas e químicas no controle de processo produtivo do Fosfato Concentrado.....	28
Figura 11 - Quarteador de polpa úmido.....	29
Figura 12 - Peneirador vibratório automático.....	30
Figura 13 - Modelos de peneiras utilizadas nas análises de granulometria.....	31
Figura 14 - Pastilhas/Analito.....	32
Figura 15 - Forno Mufla utilizado na fusão, para confecção de pastilha/analito.....	33
Figura 16 - Cadinhos de platina: Minérios após fusão.....	33
Figura 17 - <i>Axios Fast</i> da empresa <i>PANalytical</i>	34
Figura 18 - Tela principal do <i>Software SuperQ: Measure and Analyse</i>	35
Figura 19 - Porta Amostras.....	36
Figura 20 - Vista parcial do <i>Axios Fast</i> da <i>PANalytical</i>	36
Figura 21 - Tela de resultados do <i>SuperQ</i> da <i>PANalytical</i>	37
Gráfico 1 - Teor de Monitoramento: médias mensais.....	53
Gráfico 2 - Desempenho da produção: semestre.....	54
Gráfico 3 - Rendimento em massa (t/h): semestre.....	54
Gráfico 4 - Desempenho (t/h): Taxas produtivas.....	55
Gráfico 5 - Resultados finais.....	56

LISTAS DE TABELAS

Quadro 1 - Resultados dos óxidos de interesse da pesquisa	37
Tabela 1 - Exemplo de Cálculo de granulometria	31
Tabela 2- Padrão certificado	38
Tabela 3 - Especificação do Fosfato Concentrado	39
Tabela 4 - Resultados mês: Julho	41
Tabela 5 - Resultados com desempenho maximizados mês: Julho	42
Tabela 6 - Análise granulométrica: Julho	42
Tabela 7 - Resultados: Mês Agosto	43
Tabela 8 - Resultados com desempenho maximizados mês: Agosto	44
Tabela 9 - Análise granulométrica: Agosto	44
Tabela 10 - Resultados: Mês Setembro	45
Tabela 11 - Resultados com desempenho maximizados mês: Setembro	46
Tabela 12 - Análise granulométrica: Setembro	46
Tabela 13 - Resultados: Mês Outubro	47
Tabela 14 - Resultados com desempenho maximizados mês: Outubro	48
Tabela 15 - Análise granulométrica: Outubro	48
Tabela 16 - Resultados: Mês Novembro	49
Tabela 17 - Resultados com desempenho maximizados mês: Novembro.....	50
Tabela 18 - Análise granulométrica: Novembro	50
Tabela 19 - Resultados: Mês Dezembro.....	51
Tabela 20 - Resultados com desempenho maximizados mês: Dezembro.....	52
Tabela 21 - Análise Granulométrica: Dezembro	52

LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al -	Alumínio
ANDA -	Associação Nacional para Difusão de Adubos
B -	Boro
Ba -	Bário
C -	Carbono
Ca -	Cálcio
Cl -	Cloro
CEFET -	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
EDXRF -	Energy Dispersive X-ray Fluorescence (Fluorescência de Raios X de Dispersão de Energia)
Fe -	Ferro
FRX -	Fluorescência de Raios X
H -	Hidrogênio
Hf -	Háfênio
IPT -	Instituto de Pesquisa Tecnológica
Li -	Lítio
$L\alpha$ -	Raios X característicos, transições camada M para camada L
$L\beta$ -	Raios X característicos, transições camada M para camada L
$L\gamma$ -	Raios X característicos, transições camada M para camada L
K -	Potássio
$K\alpha$ -	Raios X característicos, transições camada L para camada K
$K\beta$ -	Raios X característicos, transições camada M para camada K
Mg -	Magnésio
Mo -	Molibdênio
N -	Nitrogênio
Na -	Sódio
Nb -	Nióbio
O -	Oxigênio
P -	Fósforo
S -	Enxofre

Si -	Silício
t/a -	Toneladas/ano
t/h -	Toneladas/hora
Ti -	Titânio
Tl -	Tálio
W -	Tungstênio
WDXRF -	Wave Length Dispersive X-ray Fluorescence (Fluorescência de Raios X de Dispersão de Comprimento de Onda)
Zr -	Zircônio
# -	Mesh
% -	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Óxidos.....	19
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO E PROPRIEDADE DOS ÓXIDOS.....	19
2.1.2 OS ÓXIDOS E SUAS APLICAÇÕES.....	20
2.2 Fertilizantes.....	20
2.3 Fluorescência de Raios-X.....	21
2.3.1 FUNDAMENTOS.....	22
2.4 Espectrômetros de Raios-X.....	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Detalhamento do processo de amostragem.....	27
3.2 Detalhamento do processo de análises físicas	28
3.3 Detalhamento do processo de análises químicas	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Discussões iniciais.....	40
5 CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Considerando-se o crescimento da população mundial e também a importância da preservação ambiental, bem como a necessidade de evitar novos desmatamentos para se criar novas áreas destinadas à agricultura, uma maior oferta de alimentos se faz necessária para atender essa nova realidade de maneira mais eficiente e responsável. A alta produtividade de alimentos, nos últimos anos desenvolveu-se graças ao uso de novas tecnologias, tanto em relação a maquinários mais modernos e eficientes, como também com o uso de produtos e insumos para atenderem às necessidades nutricionais das plantas. O uso cada vez maior de fertilizantes para esse fim, somado com técnicas mais eficientes de preparação dos solos, tem ajudado muito o produtor a ter melhores resultados de produção no que diz respeito ao volume colhido por hectare plantado. No entanto, segue-se sendo fundamental a diminuição dos custos de produção e sendo assim, um melhor aproveitamento da matéria-prima para se fabricar fertilizantes passa a ser uma necessidade, até mesmo se considerarmos como findáveis os recursos naturais para esse fim.


Sendo a distribuição de renda no globo desigual, torna-se de extrema importância um aumento na produção de alimentos em quantidades e preços mais acessíveis, de maneira que o maior número de pessoas possíveis possa ser beneficiado e terem suas necessidades nutricionais atendidas.

O agronegócio hoje é sem sombra de dúvidas um dos pilares da economia, a sua produção tem alavancado as exportações e gerado divisas para o país e a vocação agrícola aliada a grandes extensões cultiváveis favorecem e muito nos recordes das safras em termos de resultados, sendo os fertilizantes um dos grandes responsáveis pelos bons resultados, aliado também é claro, à altíssima tecnologia empregada hoje na agricultura.

No Brasil a produção de fertilizantes é baixa, não conseguindo suprir a demanda crescente desse insumo, o que torna o país dependente da importação em mais da metade do volume usado anualmente no agronegócio. Melhores resultados então na produção nacional de fertilizantes ajudariam e muito o setor, além de diminuir também a dependência externa, fortaleceria os fabricantes nesse segmento.

A FIG. 1 ilustra os indicadores do uso de fertilizantes no cenário nacional, o total de fertilizantes entregues ao consumidor final (em toneladas de produto), ao final de 2015 somaram 30.201.998 sendo que a produção nacional foi de 9.115.260 e a importação de fertilizantes somaram um total de 21.087.299. Esse cenário nos mostra a dimensão da

necessidade da indústria nacional melhorar os seus índices de produção, frente a grande demanda interna de uso desse insumo na agricultura, bem como a necessidade de diminuir a importação do mesmo, o que poderia fazer com que os custos finais ao produtor fossem menores, o que favoreceria com que o preço final dos alimentos causasse menos impacto para os consumidores menos favorecidos, contribuindo dessa maneira para que mais alimentos pudesse matar a fome desses contingentes.

 PRINCIPAIS INDICADORES DO SETOR DE FERTILIZANTES

Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017x2016
Janeiro	2.175.907	1.994.142	2.129.366	2.609.254	22,5%
Fevereiro	2.045.629	1.839.487	2.245.917	2.044.113	-9,0%
Março	1.669.626	1.760.519	1.823.711	1.764.616	-3,2%
Abril	1.755.497	1.383.331	1.642.780	1.379.777	-16,0%
Mai	2.629.361	2.066.726	2.353.852	2.450.954	4,1%
Junho	2.682.830	2.667.828	2.986.298		
Julho	3.262.552	3.257.788	3.346.162		
Agosto	3.606.064	3.569.124	3.924.053		
Setembro	3.914.292	3.754.797	4.021.881		
Outubro	3.706.099	3.384.614	3.698.403		
Novembro	2.772.825	2.503.545	3.235.239		
Dezembro	1.988.384	2.020.097	2.675.753		
Total	32.209.066	30.201.998	34.083.415	10.248.714	0,5%

Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017x2016
Janeiro	637.375	810.364	682.847	657.618	-3,7%
Fevereiro	578.291	708.716	705.926	607.589	-13,9%
Março	731.307	693.416	666.941	671.138	0,6%
Abril	740.337	700.736	686.332	662.646	-3,5%
Mai	744.557	708.216	757.000	698.286	-7,8%
Junho	724.943	748.252	775.832		
Julho	741.731	779.894	784.757		
Agosto	792.050	802.804	804.655		
Setembro	824.264	774.099	801.871		
Outubro	835.436	854.252	796.886		
Novembro	696.978	785.600	761.599		
Dezembro	770.411	748.911	775.171		
Total	8.817.680	9.115.260	8.999.817	3.297.277	-5,8%

Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017x2016
Janeiro	1.588.722	1.480.952	1.776.138	2.346.693	32,1%
Fevereiro	1.463.735	1.156.590	1.276.884	1.822.576	42,7%
Março	2.002.056	1.256.067	1.135.881	1.326.935	16,8%
Abril	1.939.171	1.570.816	1.522.312	1.781.568	17,0%
Mai	1.894.689	1.865.673	2.044.954	2.076.751	1,6%
Junho	2.081.333	2.391.753	2.177.677		
Julho	2.433.561	2.443.319	2.569.663		
Agosto	2.502.535	2.137.657	2.616.133		
Setembro	2.166.296	1.772.134	2.268.806		
Outubro	2.548.063	1.838.898	2.635.564		
Novembro	1.960.305	1.941.398	2.355.063		
Dezembro	1.455.134	1.232.042	2.106.418		
Total	24.035.600	21.087.299	24.485.493	9.354.523	20,6%

Fonte: SIACESP (Não inclui importação para outros usos)

Principais Exportações de Fertilizantes e Formulações NPK (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017x2016
Janeiro	54.010	50.640	37.348	37.119	-0,6%
Fevereiro	50.466	38.994	15.543	12.902	-17,0%
Março	52.893	17.070	13.605	14.716	8,2%
Abril	69.241	51.545	24.624	23.132	-6,1%
Mai	66.393	52.728	38.257	43.036	12,5%
Junho	70.942	73.701	79.607		
Julho	72.290	67.787	79.732		
Agosto	53.920	46.262	83.808		
Setembro	32.225	46.886	47.030		
Outubro	35.900	11.465	24.768		
Novembro	60.419	32.699	52.158		
Dezembro	57.902	36.396	52.964		
Total	676.601	526.173	549.444	130.905	1,2%

Relações de Trocas de Fertilizantes e Produtos Agrícolas (Quantidade de produto agrícola necessária para adquirir 1 tonelada de fertilizante)					
Unidade	2014	2015	2016	2017 (jan-abr)	
Algodão c/ Caroco	15 kg	57,6	62,3	52,5	44,9
Arroz em Casca	saca de 60 kg	27,4	30,0	24,5	23,6
Cana-de-açúcar	t	26,5	27,9	27,5	26,7
Café Arábica	saca de 60 kg	3,2	2,9	2,7	2,5
Milho	saca de 60 kg	65,6	70,6	43,6	55,8
Soja	saca de 60 kg	19,8	22,8	20,0	22,2

Fonte: Conab e elaborado pela MacroSector Consultores

Figura 1 - Indicadores do Setor de Fertilizantes.
Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA).

Uma unidade de mineração possui uma mina de extração de rocha fosfática, que é sua matéria-prima para a produção do Fosfato Concentrado, sendo esse seu produto final. A unidade de mineração possui um único cliente, sendo esse, outra unidade da mesma empresa, porém, instalada em outra cidade. O Fosfato Concentrado produzido nessa unidade de mineração, então, é a principal “matéria prima” fornecida para o seu cliente, que, a partir dela e outros insumos, fabricam fertilizantes nas mais variadas formulações químicas, de acordo com a demanda do mercado agroindustrial.

A concentração do minério se faz a partir da extração da rocha fosfática na mina, e seu posterior processamento na usina de beneficiamento, de acordo com especificações de produção. O minério extraído na mina dessa unidade apresenta características físico-químicas com bastante heterogeneidade, sobretudo em relação aos teores dos principais óxidos que compõem o minério da reserva. A sua extração é realizada em várias frentes de lavra¹, tendo como objetivo a composição de teores médios nas concentrações dos óxidos, que irão formar pilha de homogeneização² (principalmente do óxido P_2O_5 em torno de 9,0 %), a qual irá ser beneficiada para a produção do Fosfato Concentrado.

Como relatado inicialmente, a heterogeneidade do minério presente na jazida dificulta uma padronização do processo produtivo e como consequência, sua concentração final é bastante trabalhosa. Esse trabalho visa identificar parâmetros operacionais que indiquem uma melhor produtividade relativa à taxa de alimentação da usina e a moagem do minério que influenciam diretamente no processo de flotação do Fosfato Concentrado.

Através do monitoramento do processo produtivo realizado com análises químicas através da Espectrometria de Fluorescência de raios X, pretende-se investigar então, esse conjunto de procedimentos operacionais que melhor representem esse ganho (picos) de massa produzida de Fosfato Concentrado acima da média convencional estabelecida como meta.

A FIG. 2 mostra as etapas do processo produtivo desde a extração do minério até o produto final. Sendo as etapas principais da produção do fosfato concentrado a moagem e a flotação. Na rebitagem o minério passa por peneiras de classificação, sendo separada da seguinte maneira, a parte retida granulada segue para os moinhos de barras e o passante segue para os moinhos de bolas. Composto os AN's granulada e friável (grosso) que seguem para a flotação, ou seja, a moagem influi diretamente na flotação, sendo nessa etapa que ocorre a concentração do fosfato, refletindo na massa produtiva de todo o processo de beneficiamento

¹ Frentes de lavra: termo usado na mineração referente ao máximo aproveitamento do minério da jazida.

² Pilha de homogeneização: armazenamento de minério em um pátio para ser beneficiado em seguida.

da rocha fosfática. Como o minério presente na jazida apresenta características físico-químicas muito heterogêneas a sua flotação é de difícil padronização, a dureza bem como a distribuição dos óxidos que compõem a rocha fosfática varia muito em termos de teores, fazendo com que os parâmetros de desempenho da produção não sejam os mesmos em relação à massa produzida de fosfato concentrado, quando ocorre uma troca de pilha de homogeneização que alimenta a usina de beneficiamento.

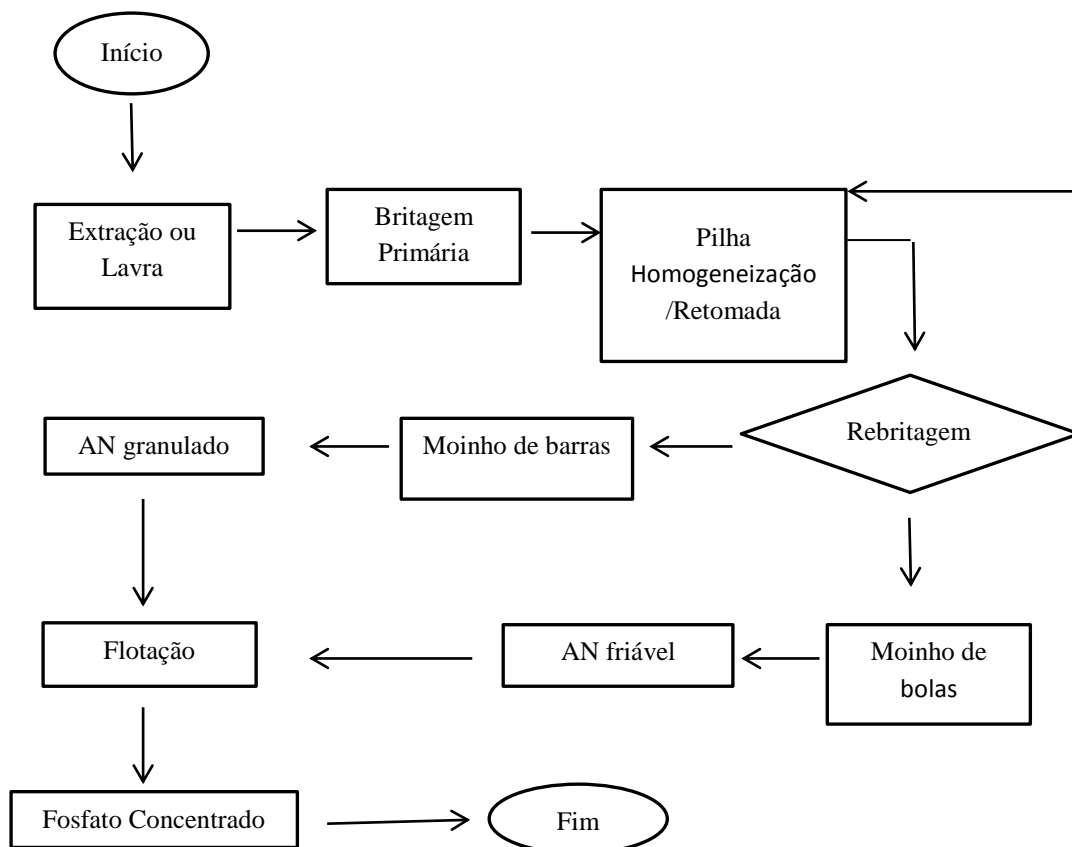


Figura 2 - Fluxograma de Produção do Fosfato Concentrado a partir da Rocha Fosfática.

Dentro deste contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral estudar a variabilidade do processo produtivo do Fosfato Concentrado e identificar os parâmetros onde se tem um rendimento em massa produzida com desempenho acima da média convencional, ou seja, investigar as condições operacionais que contribuem com esse aumento na produção.

No desenvolvimento da pesquisa foram monitoradas, dentre as muitas variáveis de processo, duas macro variáveis, que são: taxa de alimentação e moagem. Para o alcance do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram delimitados:

- Realizar um estudo comparativo de monitoramento do processo produtivo do Fosfato Concentrado, usando a espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) através dos resultados informados ao processo das amostras de concentrado grosso e concentrado granulado; em seguida, apresentar os resultados que melhor potencializa esse desempenho do processo em termos de “massa produzida” que superem a especificação do produto definidas pela produção (tanto em massa como também em relação ao teor do óxido de P_2O_5 principalmente).
- Avaliar as influências das variáveis: taxa de alimentação e moagem versus massa produzida em intervalos específicos do processo produtivo do Fosfato Concentrado.

No que tange à organização do texto, este trabalho está organizado em 5 capítulos:

O capítulo 1 aborda a motivação para o trabalho e os objetivos a serem alcançados através do estudo da pesquisa no decorrer dos capítulos seguintes.

O capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos dos temas associados ao trabalho e a sua aplicação.

O capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada para alcançar os resultados.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos ao longo do trabalho.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais e possíveis perspectivas para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Óxidos

Óxidos são compostos binários (formados por dois elementos) em que o oxigênio é o elemento mais eletronegativo (SILVA, 2007).

Nessa definição, estamos utilizando dois critérios para caracterizar um óxido:

- Composto formado por dois elementos, sendo um deles obrigatoriamente o oxigênio;
- O elemento mais eletronegativo deve ser necessariamente, o oxigênio; assim, o composto OF_2 não é um óxido, pois o flúor tem eletronegatividade maior.

Quando o átomo de oxigênio está ligado a um metal, temos um óxido iônico ou metálico, por exemplo, Na_2O , BaO e Fe_2O_3 . Se ligado a um não-metal, temos um óxido molecular ou não-metálico, por exemplo, CO_2 , NO e SO_3 .

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO E PROPRIEDADE DOS ÓXIDOS

A maioria dos óxidos metálicos reage com ácidos, formando sal e água. Há óxidos com essa propriedade, semelhante à das bases, aos quais damos o nome de óxidos básicos. Quanto maior a diferença entre a eletronegatividade do oxigênio e a do metal, maior o caráter básico do óxido (NÓBREGA, 2005).

Esses óxidos também podem reagir com água, formando bases. Vejamos alguns exemplos de reações.

Óxido básico + ácido \rightarrow sal + água: $\text{K}_2\text{O} + 2 \text{HCl} \rightarrow 2\text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ou também $\text{CaO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Óxido básico + água \rightarrow base: $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}$ ou também $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2$.

Boa parte dos óxidos não metálicos reage com bases, formando sal e água. Aos óxidos com essa propriedade, semelhante à dos ácidos, damos o nome de óxidos ácidos. Quanto mais à direita e acima na Tabela Periódica estiver o elemento que se liga ao oxigênio, ou seja, quanto menor a diferença de eletronegatividade, maior o caráter ácido do óxido.

Esses óxidos também podem reagir com água, formando ácidos. Alguns exemplos de reações:

Óxido ácido + água \rightarrow ácido: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ou também $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$.

Os óxidos ácidos também são chamados anidridos. Assim, o trióxido de enxofre, que ao reagir com água forma ácido sulfúrico, também é denominado anidrido sulfúrico (NÓBREGA, 2005).

2.1.2 OS ÓXIDOS E SUAS APLICAÇÕES

Matéria-prima básica na obtenção da maior parte dos metais, os óxidos são utilizados na indústria farmacêutica, na construção civil e na **fabricação de fertilizantes**. Para termos ideia de sua importância, basta lembrarmos que a **água (H₂O) é um óxido**.

Principais óxidos que constituem o Fosfato Concentrado que será abordado nesse estudo de pesquisa: **P₂O₅, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, CaO, TiO₂, SiO₂**. A FIG. 3 mostra um **exemplo** da distribuição dos óxidos, suas porcentagens na composição do Fosfato Concentrado e suas nomenclaturas: Pentóxido de Difósforo, Óxido de ferro III, Óxido de Magnésio, Óxido de Alumínio, Óxido de Cálcio, Óxido de Titânio IV e Óxido de Silício.

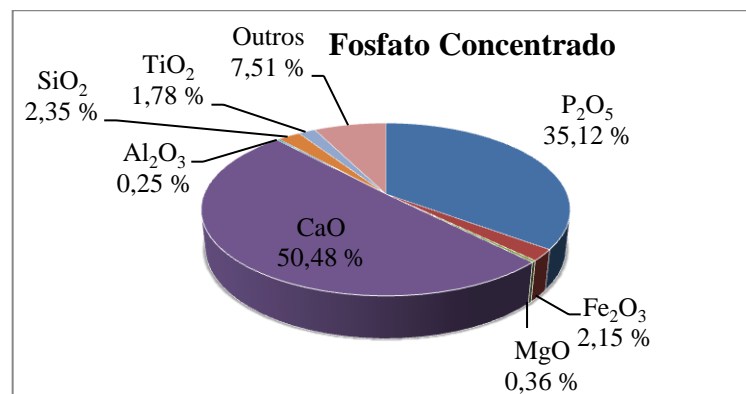


Figura 3 - Fosfato Concentrado.

2.2 Fertilizantes

Fertilizantes são definidos como sendo toda substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes para as plantas. De acordo com a Lei Nº 6.894, Decreto Nº 4.954³ de 14 de Janeiro de 2004, seguem as definições:

- Fertilizante Orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes mineral.

³ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm

- Fertilizante Mineral Simples: produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas.
- Fertilizante Mineral Misto: Produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos.
- Fertilizante Mineral Complexo: Produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes.

A FIG. 4 ilustra a composição de algumas formulações de fertilizantes.

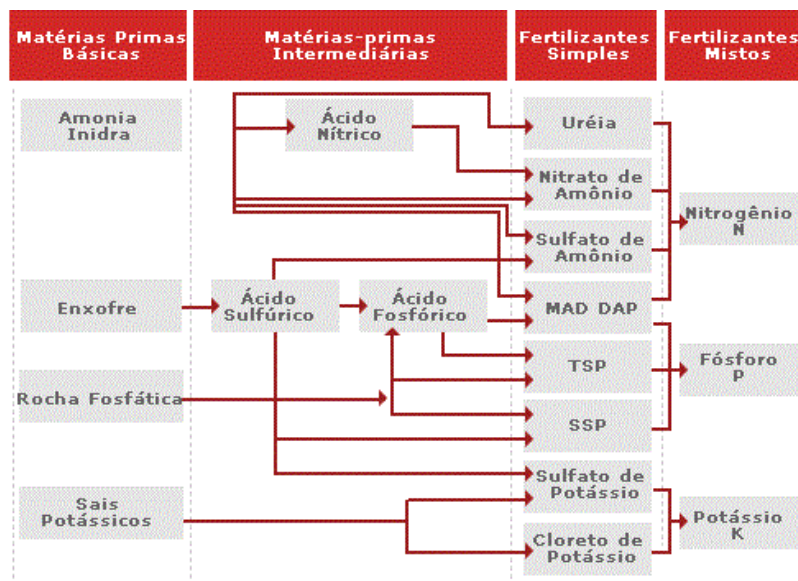


Figura 4 - Formulações dos Fertilizantes.

Fonte: Associação Nacional para difusão de adubos (ANDA).

2.3 Fluorescência de Raios X

Para Müller (1972), a determinação quantitativa de constituintes químicos de aços inoxidáveis e ligas de Ni foi possível com o uso da fluorescência de raios X em meados das décadas de 50 e 60. A partir daí foi aplicada especialmente em ligas refratárias e também em ligas de difícil separação como Zr-Hf, Nb-Tl, Mo-W além de outros.

Entre os instrumentos que ganharam destaque nos últimos tempos por sua grande aplicabilidade, eficiência e otimização do tempo de análise, estão os aparelhos de raios X que vem sendo utilizados principalmente na área de mineração, na determinação qualitativa e quantitativa de espécies químicas. Com os avanços tecnológicos é cada vez maior o emprego de instrumentos para análises nas mais diversas áreas, onde o monitoramento de resultados visa garantir o controle de qualidade de produção industrial.

Esta procura por novas alternativas tem propiciado o desenvolvimento de muitas técnicas analíticas instrumentais, grande parte das quais, além de representar um sólido avanço da própria área, tem sido fundamental para o desenvolvimento de muitos campos da ciência. Dentro do contexto das novas técnicas analíticas instrumentais, a espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) ocupa um lugar de destaque, principalmente para aquelas áreas em que a obtenção de rápido perfil de constituintes metálicos e não-metálicos é indispensável (NAGATA et al, 2001, p. 531).

2.3.1 FUNDAMENTOS

Segundo Melo Junior (2007), o uso da fluorescência de raios X mede a intensidade dos raios X característicos emitidos pelos elementos presentes na amostra, quando partículas como íons, prótons ou elétrons produzidos através de tubos de raios X, ondas eletromagnéticas ou aceleradores de partículas incidem nessa referida amostra, possibilitando a determinação qualitativa ou quantitativa dos seus constituintes.

A seguir será abordada a formação de raios X de duas maneiras similares para um melhor entendimento do processo:

A amostra ao receber um feixe de raios X como irradiação primária, os átomos nela presentes passam então a emitir raios X **característicos** como fonte secundária, sendo esses comprimentos de onda e energia característicos de cada elemento, conhecidos como raios X “**fluorescentes**”. Sendo a intensidade dos raios X fluorescente função da sua concentração, a análise quantitativa é possível pela medição da sua quantidade, e consequentemente, a análise qualitativa pode ser investigada através dos comprimentos de onda característicos dos seus elementos presentes na amostra. A FIG. 5 (SHIMADZU, 2017) ilustra o processo de formação dos raios X.

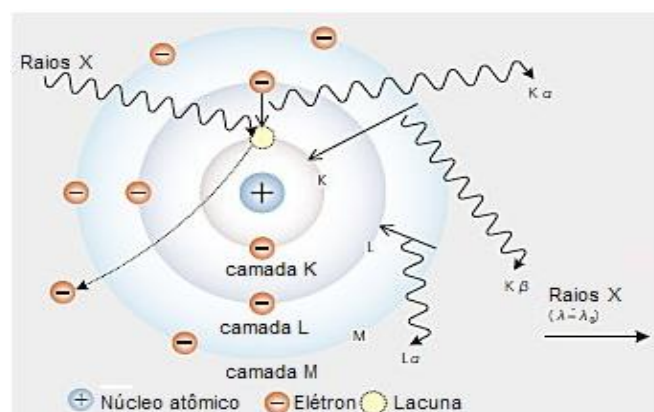


Figura 5 - Energia liberada na forma de raios X.

Fonte: Shimadzu.

Para Jenkins (1999), quando os elétrons da camada mais interna do átomo (por exemplo, K e L) são irradiados por um feixe de raios X, podem ocorrer saltos desses elétrons, criando-se um vazio. A estabilidade ocorre imediatamente assim que as vagas eletrônicas são recompostas por elétrons das camadas subsequentes. Como resultado, há um excesso de energia no processo, que é manifestado na forma de **emissão de raios X característicos** de cada átomo presente na **amostra**. Já quando um fóton é absorvido dentro do próprio átomo durante o caminho de saída, ionizando o átomo em uma camada exterior esse fenômeno é chamado de efeito Auger. A energia liberada na forma de raios-X (JANSSENS, 2004) pode ser observada na FIG. 6.

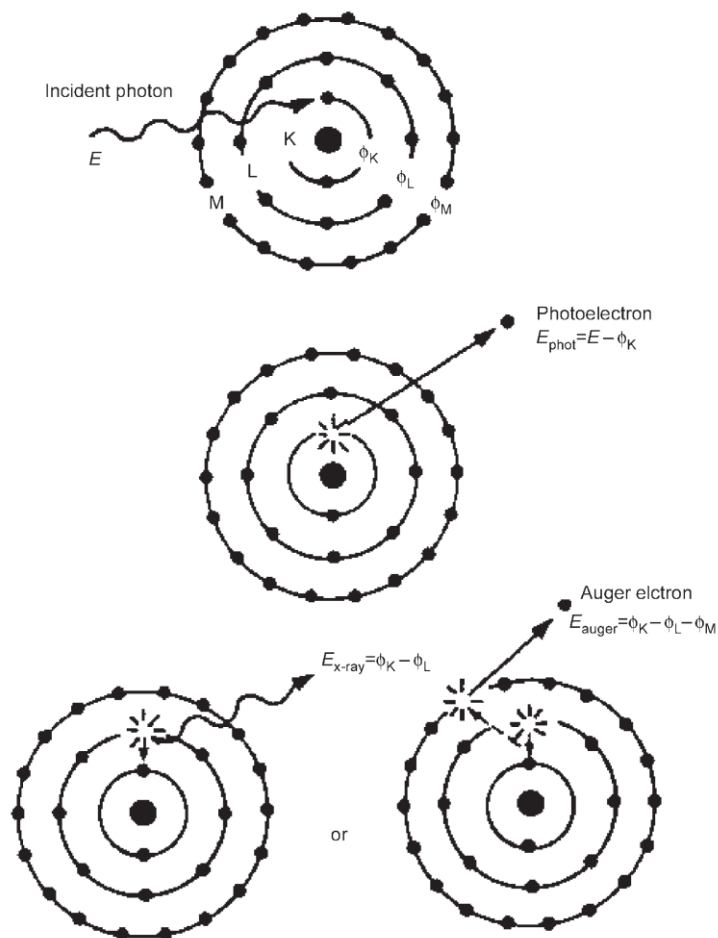


Figura 6 - Energia liberada na forma de raios X.
Fonte: JANSSENS (2004, p. 134).

Para Redígolo (2011), quando um elétron salta de uma camada para outra e ocupa uma lacuna deixada por outro que foi ejetado, ocorre um excesso de energia nessa transição, que é liberada na forma de raios X característicos os quais apresentam comprimentos de ondas inerentes a um determinado elemento químico, o que possibilita dessa maneira a sua

identificação quantitativa ou qualitativa. Havendo a ocorrência de mudança de camada como da L e M para a camada K, obtém-se espectro da série K (radiações características K_α , K_β). O espectro da série L (radiações características L_α , L_β , L_γ e outras) é obtido com o salto de elétrons das camadas M e N para a camada L. Os raios X fluorescentes das séries M e L ocorrem de forma parecida envolvendo as transições eletrônicas de camadas mais externas, (ZSCHORNACK, 2007) de acordo com a FIG. 7.

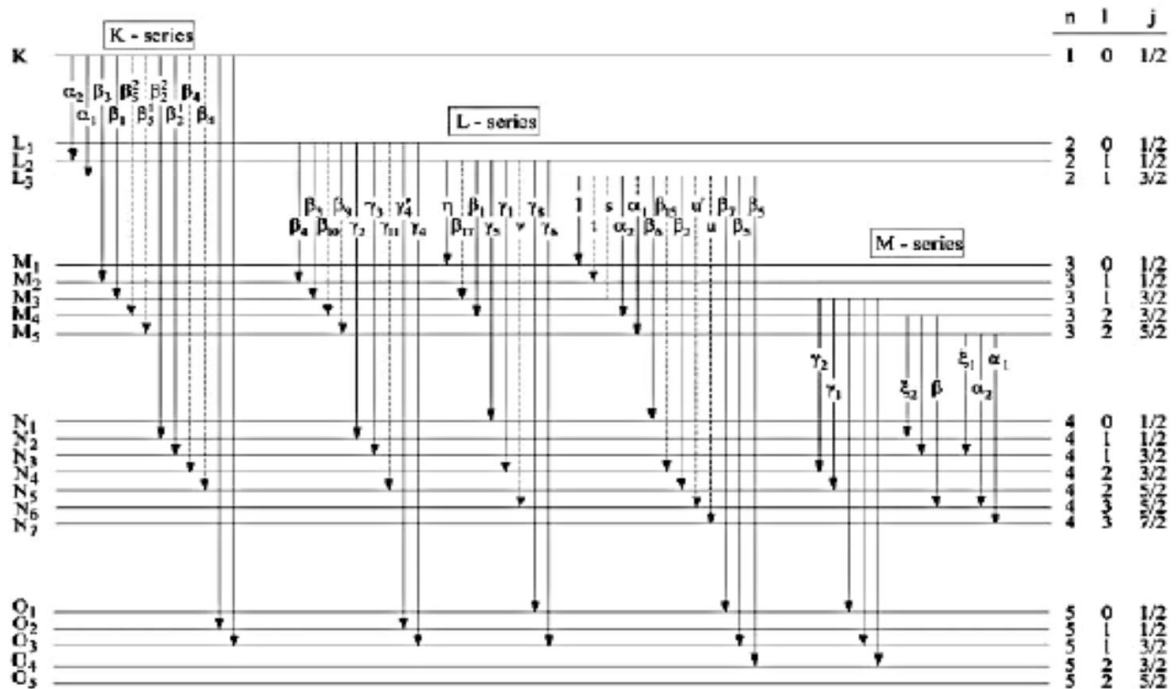


Figura 7 - Transições eletrônicas de um elemento químico.
Fonte: ZSCHORNACK, 2007.

2.4 Espectrômetros de Raios X

As configurações dos espectrômetros de raios X mais utilizadas hoje principalmente na área de mineração para caracterização e controle de qualidade são basicamente os apresentados na sequência.

2.4.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X COM DISPERSÃO POR COMPRIMENTO DE ONDA.

A difração dos raios X característicos é a essência da análise química nesses modelos de espectrômetros.

Os espectrômetros de comprimento de onda dispersivo (WDXRF, do inglês, Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence) são constituídos essencialmente por um cristal e um detector monocanal que são usados para a medida seqüencial de vários comprimentos de onda, ou por um detector multicanal que apresenta um conjunto de cristais e detectores para realização de medidas simultâneas. Nos espectrômetros convencionais, um cristal de espaço interplanar conhecido (cristal analisador), que é movimentado por um goniômetro, atua como uma rede de difração. Ele dispersa o feixe policromático proveniente da emissão da amostra, difratando cada comprimento de onda característico a um ângulo específico. Ou seja, quanto maior o comprimento de onda, maior o ângulo de dispersão (BORTOLETO, 2007, p. 13).

A FIG. 8 a seguir ilustra os componentes básicos do espectrômetro WDXRF (JANSSENS, 2004).

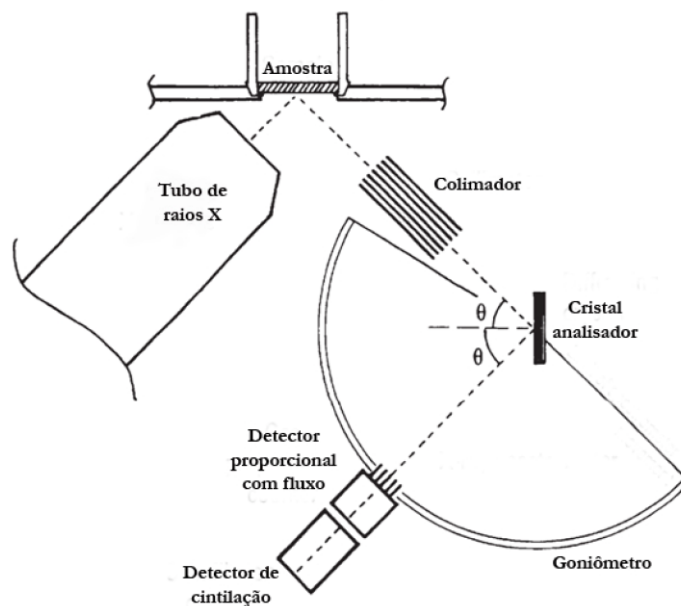


Figura 8 - Composição básica: espectrômetro de dispersão por comprimento de onda WDXRF.
Fonte: JANSSENS (2004, p. 165).

2.4.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X COM ENERGIA DISPERSIVA

Segundo Alexandre e Bueno (2006), *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence* (EDXRF), espectrometria de fluorescência de raios X com energia dispersiva é baseada na medição de raios X característicos através das intensidades emitidas pelos constituintes elementares da amostra, o que ocorrem por meio de uma excitação primária de um feixe de

raios X ao deslocar um elétron dessa amostra. A detecção dos raios X emitidos refere-se à técnica que define “energia dispersiva”, o que gera uma intensidade de espectro efetuada por um detector de Si em função da energia. Onde os componentes ao emitir sua energia característica torna possível correlacionar sua concentração em função da energia de cada elemento presente na amostra. Pataca et al (2005), entende que o aumento e aplicações diversificadas dos sistemas com fluorescências de raios X se deve ao rápido desenvolvimento dos detectores semicondutores.

A FIG. 9 ilustra os componentes básicos do espectrômetro EDXRF (JANSSENS, 2004).

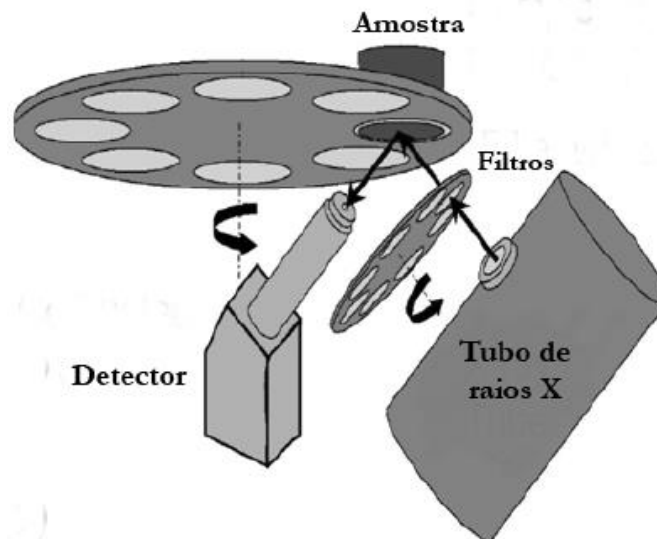


Figura 9 - Composição básica: espectrômetro de dispersão de energia EDXRF.
Fonte: JANSSENS (2004, p. 169).

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos previamente nesse trabalho de pesquisa, esse projeto foi norteado pela seguinte metodologia:

1. Coletada as amostras (minério) provenientes da usina de beneficiamento na frequência de 1x1 horas, as quais foram tratadas na sala de preparação de amostras e separadas em duas alíquotas (uma alíquota para arquivo e outra para análise física ou química), sendo especificamente aqui as amostras de interesse: alimentação do Concentrado grosso, alimentação do Concentrado granulado, ambas para **análises granulométricas** e as amostras do Concentrado grosso, Concentrado granulado e Concentrado Fosfático, utilizadas somente para **análises químicas**.
2. Usando uma das alíquotas da etapa anterior, realizar as análises físicas de granulometria em peneiras certificadas para tal, de modo a obter a separação do minério em grãos de tamanhos diferentes e apresentar o resultado de cada malha de material retido em porcentagem.
3. Uma das alíquotas (amostras dos concentrados) da etapa 1, será usada para realizar as análises químicas no espectrômetro de fluorescência de raios X, no monitoramento do processo.
4. Realizar a coleta das informações/dados propostas para o trabalho de pesquisa e fazer um estudo crítico dessas informações, para alcançar os objetivos definidos anteriormente.
5. Tratar as informações referidas em um período de seis meses de monitoramento do processo, tempo que se espera suficiente para chegar a algum resultado pertinente ao desejado no estudo da pesquisa.

3.1 Detalhamento do processo de amostragem

A amostragem é a etapa mais importante no controle do monitoramento do processo de produção do Fosfato Concentrado, porque os seus resultados devem representar de maneira confiável as características físicas e químicas do minério ao ser beneficiado. Após sua coleta, segue para as análises conforme a FIG. 10 ilustrada no fluxograma de tratamento do minério no processo.

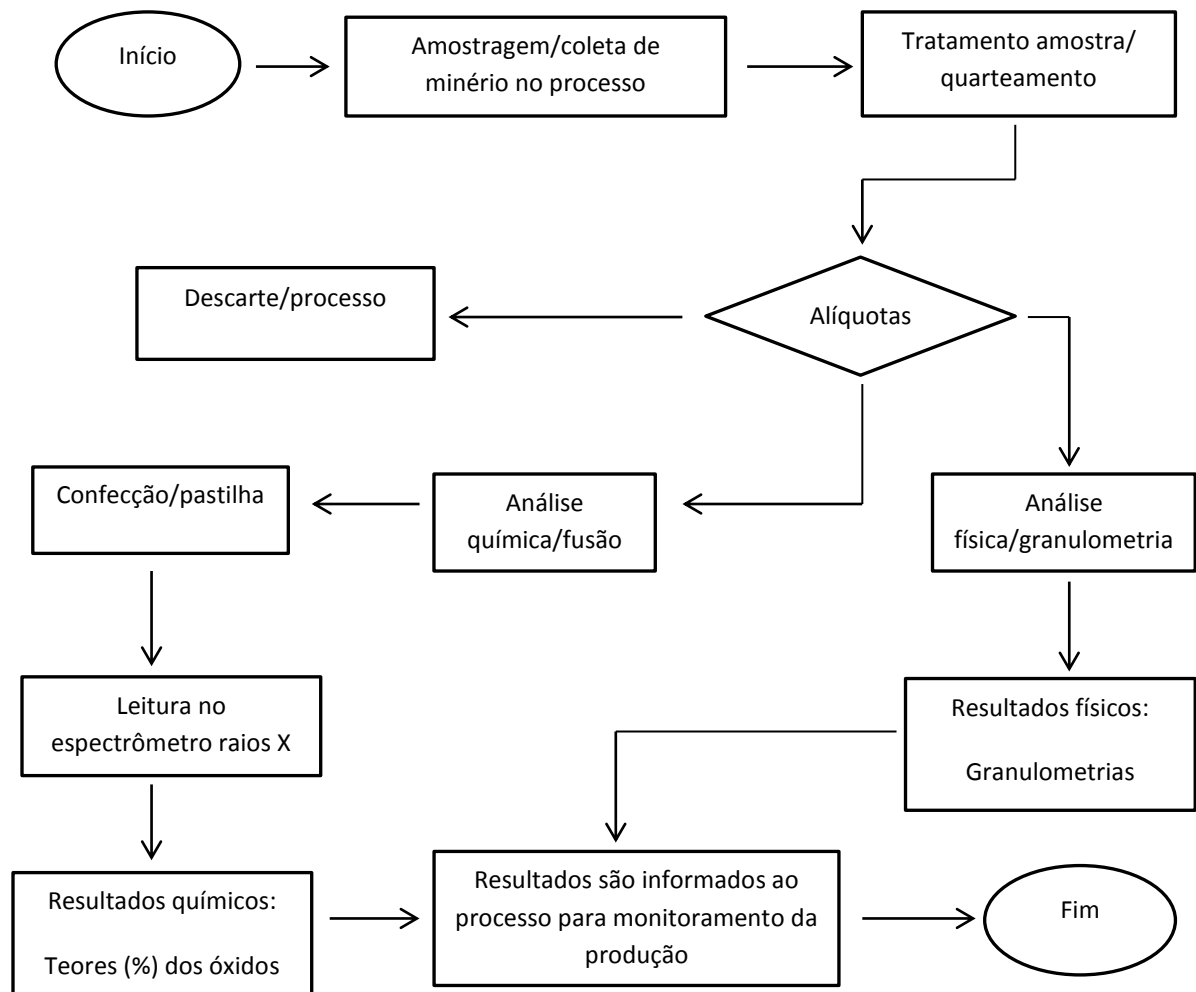


Figura 10 - Fluxograma de amostragem e distribuição das alíquotas para análises físicas e químicas no controle de processo produtivo do Fosfato Concentrado.

O monitoramento do processo produtivo do Fosfato Concentrado é realizado pelo laboratório químico, onde se realiza as análises físicas e químicas retornando esses resultados para o setor de beneficiamento onde é feito o controle de qualidade da produção.

A amostragem é realizada pelo auxiliar de laboratório, segundo uma programação pré-definida pelo processo, com uma frequência de intervalo entre amostragem de uma em uma hora (1x1 hora). Feita a coleta nos pontos de amostragem da usina de concentração, as amostras são levadas até o laboratório químico onde serão tratadas com o objetivo de serem analisadas conforme definido nos tópicos: 3.2 e 3.3.

3.2 Detalhamento do processo de Análises Físicas

Os tratamentos das amostras seguem as rotinas descritas na sequência e os resultados informados ao processo é que orientam no controle de qualidade para atingir as metas de massa e concentração a serem produzidas.

3.2.1 EQUIPAMENTOS USADOS NO TRATAMENTO DO MINÉRIO NAS ANÁLISES FÍSICAS.

3.2.1.1 *Quarteador de Polpa*

O tratamento das amostras consiste no quarteamento do minério, que visa diminuir a quantidade do material coletado, uma vez que, para realizar as análises, é necessária apenas uma alíquota representativa do minério. A FIG. 11 ilustra o quarteador usado no processo.



Figura 11 - Quarteador de polpa úmido.
Fonte: CDC ind.

3.2.1.2 *Peneirador vibratório*

São separadas duas alíquotas do processo anterior; uma será destinada à análise granulométrica, que consiste em transferir essa alíquota para uma peneira que, logo após, é colocada no peneirador vibratório, sendo esse ligado por um tempo já definido por um *timer* que, ao fim do tempo especificado (cinco minutos), desliga automaticamente; esse processo é realizado com água introduzida por uma mangueira conectada na tampa superior, que fecha a peneira. O material retido fica presente na peneira e o passante é coletado em um recipiente que retém o volume de água e, posteriormente, após decantação das partículas sólidas é descartado. A FIG. 12 ilustra o peneirador usado.



Figura 12 - Peneirador vibratório automático.
Fonte: Engendrar ind.

No processo descrito anteriormente, são geradas, então, duas massas, sendo a primeira o retido na **peneira** e, a segunda, o **passante** que é coletado após o descarte da água. Logo após, ambas são transferidas para pratos de alumínio e levadas a uma estufa a 80 °C até completa secagem.

3.2.1.3 Peneiras granulométricas

O material do processo anterior, estando completamente seco, é colocado para resfriar; passado o tempo necessário, é finalmente pesado, anotados os dois pesos (massas) em balanças de precisão devidamente calibradas. De posse dos dois valores de massa, retido e passante, é feito o cálculo que nos fornecerá a porcentagem do material retido, sendo esse o valor de interesse para o processo, pois informa a granulometria do minério a ser processado na usina de beneficiamento.

A análise física de granulometria é realizada em malha de 65 *mesh*⁴ (#65), sendo a **porcentagem do retido** o valor **importante** considerado para o trabalho em questão. A TAB. 1 ilustra o cálculo da porcentagem.

⁴ *Mesh*: número de aberturas em uma polegada linear.

Tabela 1 - Exemplo de Cálculo de granulometria.

Descrição	Massa Total (gramas)	Retido Malha #65 (gramas)	Passante Malha #65 (gramas)	Resultado (% do retido)
Amostra 01	39,50	6,50	33,00	16,46
Amostra 02	19,50	4,50	15,00	23,08

Na tabela acima são exemplificados como se chega aos resultados desejados das malhas de interesse para a pesquisa em desenvolvimento. A FIG. 13 ilustra as peneiras utilizadas em análises granulométricas. Alguns modelos de peneiras usadas nas indústrias de mineração de uma maneira em geral, observando que no nosso trabalho de pesquisa a de interesse é a de 65 *mesh*.



Figura 13 - Modelos de peneiras utilizadas nas análises de granulometria

Fonte: Solotest ind.

3.3 Detalhamento do processo de análises químicas

Nos próximos tópicos será descrito o processo de fusão para as análises químicas.

3.3.1 CONFECÇÃO (FUSÃO) DAS PASTILHAS/ANALITOS

Para o processo de análise química, utilizando-se de **uma alíquota** descrita anteriormente (Metodologia, etapa 3), pesa-se cerca de 20,0 gramas (massa suficiente para arquivo ou testemunho⁵ e fusão). Será em seguida, encaminhada para a fusão. O técnico, de posse do minério pesa 0,5 gramas do mesmo, adiciona 3,0 gramas de tetraborato de sódio e

⁵ Testemunho: fração do minério (massa) que é arquivada por 24 horas para reanálise se necessário.

0,5 gramas de iodeto de potássio, transfere esse material para um cadinho de platina e leva a máquina de fusão, a uma temperatura de 1.090 °C durante quinze minutos. A máquina de fusão é automatizada e durante o processo de fusão realiza movimentos para homogeneizar o material no interior do cadinho de platina.

Após o processo de fusão descrito no item anterior e depois de resfriada a pastilha/analito⁶, é finalmente levada ao aparelho de espectrômetro de raios X para análise quantitativa dos óxidos de interesse no monitoramento do processo produtivo do Fosfato Concentrado. A FIG. 14 ilustra amostras de minério antes e após o processo de fusão, para posterior análise no espectrômetro de raios X.



Figura 14 - Pastilhas/Analito.

Para esta pesquisa foram analisadas três amostras, dois concentrados intermediários que irão compor o produto final, sendo esses o Concentrado Grosso e também a amostra do Concentrado Granulado e a amostra do produto final, o Fosfato Concentrado.

3.3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO E ANÁLISE DA PASTILHA/ANALITO

3.3.2.1 Máquina de Fusão

Equipamento constituído por uma mufla e um conjunto eletro-pneumático regulado a uma temperatura de 1.090 °C. O conjunto é automático, e no processo de fusão, o tempo necessário programado é de 15 minutos, sendo de 3 minutos para que a temperatura

⁶ Analito: espécie química presente na amostra cuja concentração se deseja determinar em uma análise.

alcance novamente 1.090 °C, (visto que, no momento em que se abre a porta, essa temperatura cai); e mais 12 minutos para a máquina realizar os movimentos necessários para uma completa homogeneização do material presente no cadinho de platina. A FIG. 15 ilustra um Forno Mufla usado na máquina de fusão.

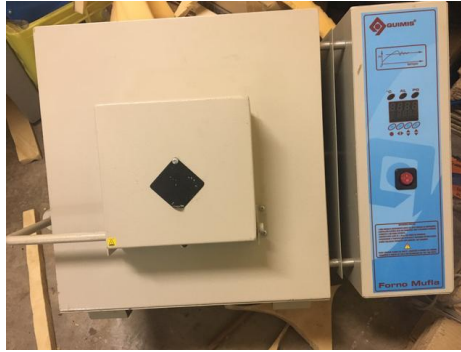


Figura 15 - Forno Mufla utilizado na fusão, para confecção de pastilha/analito.
Fonte: Quimis Aparelhos Científicos.

A FIG. 16 mostra os minérios: Concentrado (claro), escuro (rejeito) e também as pastilhas/analitos após o processo de fusão, os utensílios de metais são os cadinhos de platina usados como recipientes na fusão de amostras.



Figura 16 - Cadinhos de platina: Minérios após fusão.

3.3.2.2 Espectrômetro de fluorescência de raios x: *Axios Fast*

A FIG. 17 ilustra o equipamento *Axios Fast*, utilizado no trabalho de pesquisa referente ao estudo de caso aqui proposto.



Figura 17 - *Axios Fast* da empresa *PANalytical*.
Fonte: *PANalytical*.

As características operacionais do *Axios FAST* são muito relevantes para a confiabilidade dos resultados de monitoramento da produção, o espectrômetro WDXRF simultâneo da *PANalytical*. Esse equipamento, com base na plataforma *Axios*, possibilita análises químicas rápidas com geração de vários dados sobre o analito, essas informações são fundamentais para controlar a qualidade do produto, maximizar a produção e evitar perdas.

O *Axios FAST* possibilita a medir simultaneamente até 28 elementos, gerando análises de rotina extremamente rápidas para controle de processos em tempo real. Na verdade, é possível obter uma produtividade diária superior a 1.000 amostras. Estes recursos o tornam sua aplicação ideal nas indústrias de metais e mineração e no setor de serviços de laboratórios de análises, incluindo:

- Produção de aço e ligas de metais.
- Serviços de laboratório comerciais de alta produtividade.

Após a confecção das pastilhas/analitos conforme descrito anteriormente, as mesmas são levadas ao espectrômetro de fluorescência de raios X: *Axios Fast* para serem analisadas.

Através de *Software FRX SuperQ* abre-se o mesmo (*Measure and Analyse*) e se programa a leitura das amostras.

A FIG. 18 ilustra a tela principal do *software SuperQ* de interface do usuário com o *Axios Fast*.

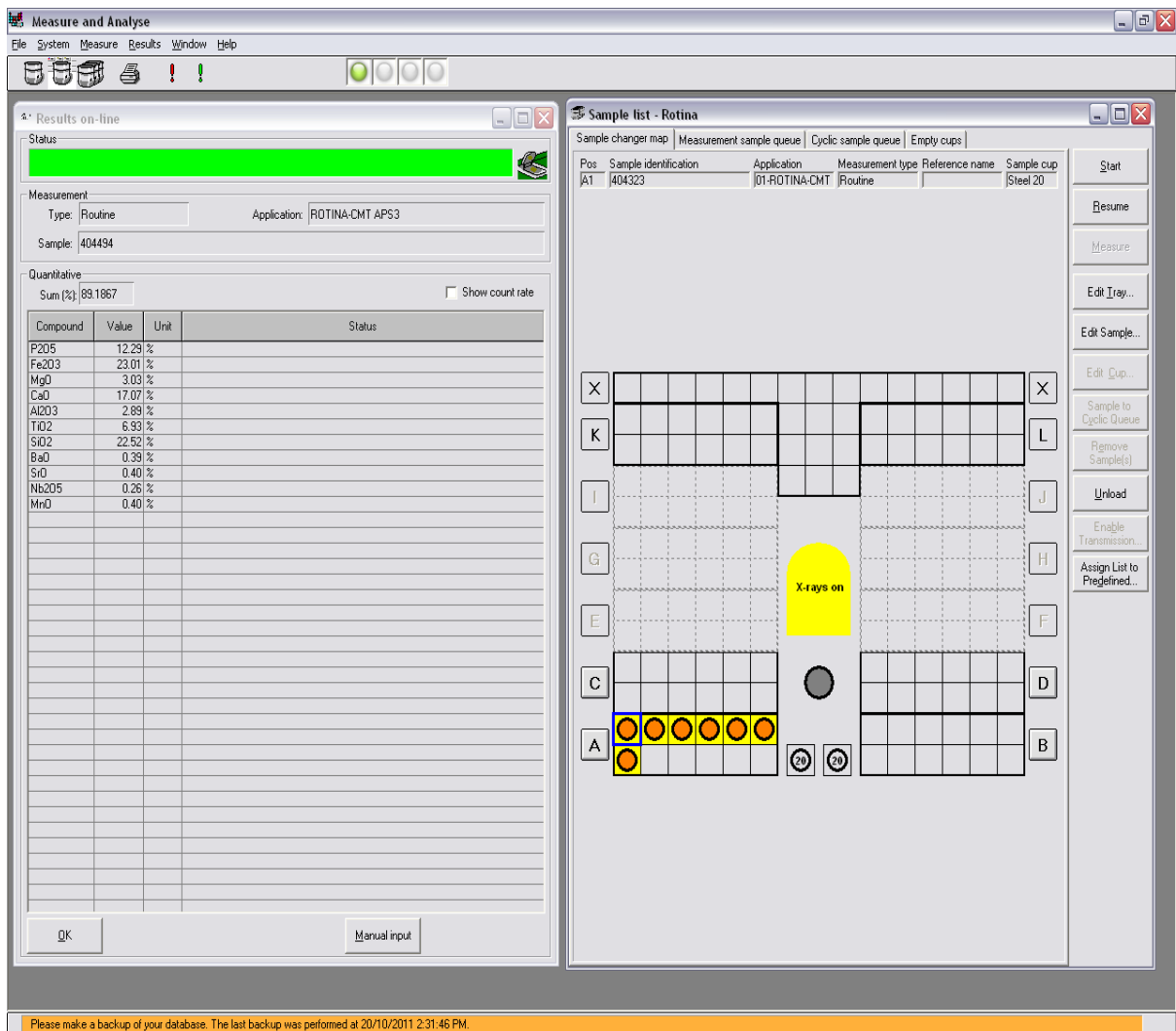


Figura 18 - Tela principal do *Software SuperQ: Measure and Analyse*.

As pastilhas/analitos são então colocadas nos portas amostras e finalmente através do comando *Start* é solicitada a leitura da mesma, o que leva cerca de um minuto para que o resultado seja fornecido pelo *Software* na pasta *Results of Analyses*. Na ilustração anterior foram programadas sete amostras para serem analisadas, conforme se pode observar onde aparecem os círculos pretos com fundo amarelo.

A FIG. 19 a seguir ilustram os portas amostras onde as amostras são colocadas antes da leitura no *Axios Fast*.

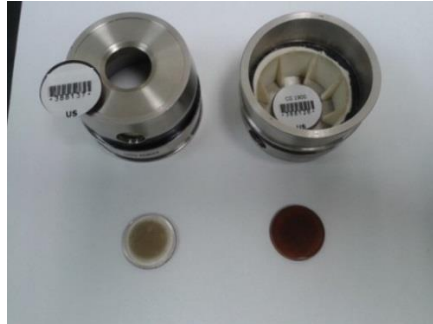


Figura 19 - Porta Amostras.

A seguir, são mostradas uma sequência de imagens do *Axios Fast* em relação aos portas amostras e o seu posicionamento antes da leitura no Espectrômetro de Fluorescência de raios X usado no trabalho de pesquisa, com o objetivo de melhor entendimento do funcionamento aparelho.



Figura 20 - Vista parcial do *Axios Fast* da PANalytical.

Os resultados fornecidos pelo *Axios Fast*, para o monitoramento do processo de produção do Fosfato Concentrado, são os seguintes óxidos descritos no início e apresentados novamente agora para o estudo de pesquisa em questão: P_2O_5 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Al_2O_3 , TiO_2 e SiO_2 . Os valores são apresentados em porcentagens representando a quantidade de cada um presente na amostra/analito, analisado pelo espectrômetro de fluorescência de raios X, *Axios Fast*. A seguir a FIG. 21, ilustra a apresentação dos resultados através do *software SuperQ*.

Seq	Sample name (I-63)	Meas: date/time	Sum of conc. (%)	Result type	P2O5 (%)	Fe2O3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al2O3 (%)	TiO2 (%)	SiO2 (%)	BaO (%)	SrO (%)	Nb2O5 (%)	MnO (%)
1	404479	10/06/2017 17:03	34,588	Concentration	37,46	1,96	0,34	50,05	0,39	1,33	2,06	0,09	0,06	0,06	0,20
2	404470	10/06/2017 17:04	34,751	Concentration	36,46	5,00	0,36	47,17	0,96	2,12	2,19	0,07	0,07	0,10	0,36
3	404472	10/06/2017 17:05	30,529	Concentration	32,37	4,76	0,51	45,37	0,75	2,13	3,60	0,17	0,72	0,06	0,06
4	404475	10/06/2017 17:05	32,714	Concentration	34,41	4,24	0,40	43,97	2,36	2,12	2,93	0,41	1,17	0,11	0,34
5	404477	10/06/2017 17:06	89,811	Concentration	31,90	5,65	0,54	40,53	3,39	2,96	3,60	0,50	1,21	0,13	0,01
6	404473	10/06/2017 17:07	81,540	Concentration	29,10	9,66	0,69	35,69	4,47	4,32	9,15	0,71	1,26	0,22	0,01
7	404474	10/06/2017 17:08	89,193	Concentration	4,42	33,96	4,90	3,62	6,96	11,33	22,79	0,61	0,36	0,27	0,32
8	404482	10/06/2017 17:06	33,176	Concentration	26,05	5,43	0,26	46,30	0,67	2,18	2,14	0,06	0,04	0,11	0,20
9	404487	10/06/2017 17:07	32,191	Concentration	33,23	4,60	0,52	46,39	0,64	2,16	2,01	0,12	0,72	0,06	0,12
10	404489	10/06/2017 17:08	33,112	Concentration	36,56	2,96	0,24	48,04	1,06	1,70	1,96	0,07	0,94	0,09	0,01
11	404483	10/06/2017 17:09	81,951	Concentration	5,21	27,07	4,93	7,69	6,05	11,24	18,96	0,52	0,37	0,39	0,21
12	404488	10/06/2017 17:09	30,322	Concentration	5,71	26,34	3,72	7,81	4,02	9,14	26,36	0,50	0,31	0,23	0,42
13	404481	10/06/2017 18:00	31,803	Concentration	3,90	38,80	3,63	4,14	4,81	15,95	18,90	0,95	0,22	0,48	0,41
14	404480	10/06/2017 18:01	30,523	Concentration	12,88	19,89	5,69	18,43	4,11	7,51	26,45	0,32	0,46	0,26	0,19
15	404486	10/06/2017 18:02	88,485	Concentration	14,12	26,20	3,07	17,23	4,11	9,29	13,72	0,45	0,53	0,34	0,40
16	404501	10/06/2017 18:46	33,734	Concentration	36,74	2,48	0,19	49,34	0,49	1,60	2,00	0,06	0,06	0,09	0,01
17	404490	10/06/2017 18:47	34,050	Concentration	36,46	5,36	0,26	46,59	0,76	2,09	1,96	0,07	0,05	0,10	0,10
18	404492	10/06/2017 18:48	32,467	Concentration	25,52	3,01	0,36	49,97	0,43	1,26	2,26	0,09	0,76	0,02	0,01
19	404497	10/06/2017 18:48	30,199	Concentration	34,88	4,26	0,33	43,95	2,38	1,98	2,40	0,40	1,16	0,10	0,06
20	404499	10/06/2017 18:49	30,486	Concentration	23,07	4,75	0,42	42,16	3,01	2,16	3,13	0,40	1,17	0,11	0,10
21	404495	10/06/2017 18:50	81,187	Concentration	30,34	9,60	0,49	37,41	4,21	3,68	3,86	0,64	1,27	0,19	0,50
22	404496	10/06/2017 18:51	88,834	Concentration	4,71	37,34	3,28	4,58	6,15	14,23	16,44	0,63	0,34	0,29	0,32
23	404494	10/06/2017 18:52	89,187	Concentration	12,29	23,01	3,03	17,07	2,89	6,93	22,52	0,39	0,40	0,26	0,40

Figura 21 - Tela de resultados do SuperQ da PANalytical.

Apresentação dos resultados analíticos, listando os resultados quantitativos dos óxidos já em suas respectivas porcentagens presentes nas amostras/analitos, após análises no espectrômetro de fluorescência de raios X *Axios Fast*. O QUAD. 1 ilustra os resultados analíticos.

Amostra	P_2O_5 P (%)	Fe_2O_3 Fe (%)	MgO Mg (%)	CaO Ca (%)	Al_2O_3 Al (%)	TiO_2 Ti (%)	SiO_2 Si (%)
1	34,45	4,05	0,67	47,27	0,68	1,38	3,11
2	33,11	1,06	0,47	50,81	0,24	0,36	2,46
3	35,93	1,39	0,37	50,23	0,41	0,83	2,45
4	2,00	17,49	4,30	7,63	2,13	9,50	16,62
5	3,68	20,93	5,78	9,02	2,65	6,46	51,05
6	3,31	25,66	10,64	5,63	6,19	6,45	35,40

Quadro 1 – Resultados dos óxidos de interesse da pesquisa.

3.3.2.3 Validação dos resultados Analíticos, controle externos e internos.

O controle na validação dos resultados fornecidos pelo *Axios Fast*, segue rigorosamente um plano de **calibração instrumental** externo, realizado pela empresa *PANalytical* com periodicidade semestral, onde todos os mecanismos eletroeletrônicos do equipamento são checados, o que garante uma grande confiabilidade funcional do mesmo, tudo com laudo e certificado de calibração renovados no período descrito inicialmente.

Já o controle analítico interno na validação dos resultados pelo *Axios Fast*, segue a participação do laboratório no Programa Inter laboratorial de padronização analítica de resultados na indústria de fertilizantes, o qual é gerido pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) devidamente certificada por essa entidade.

Metodologia na validação e confiabilidade dos resultados das análises fornecidos pelo *Axios Fast*:

- Controle de brancos: é o controle onde se analisa uma amostra somente com os sais fundentes a fim de se verificar contaminações desse material.
- Controle de duplicatas: é o controle onde se analisa uma amostra em duplicata para verificar a reprodutibilidade do resultado da análise do espectrômetro *Axios Fast*.
- Controle com padrões externos certificados: é o controle onde se analisa padrões externos certificados, onde se verifica a precisão e confiabilidade dos resultados analisados. Os resultados obtidos tem uma tolerância máxima de erro (+/-) 0,01 % em relação aos valores certificados, conforme TAB. 2 padrão.
- Calibração interna de rotina na garantia da confiabilidade dos resultados fornecidos, na validação das análises:
 - a) Amostra padrão interno: amostra constituída pelo minério que se monitora no processo produtivo do Fosfato Concentrado, com o objetivo de observar possíveis desvios de resultados no que se refere a desvios ou falhas de natureza mecânica, elétrica ou eletrônica do espectrômetro *Axios Fast*, bem como a reprodutibilidade dos resultados obtidos.
 - b) Amostra padrão externo: amostra de Fosfato Concentrado certificada por entidade externa

Tabela 2 - Padrão certificado.

	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO(%)	CaO(%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
Padrão	35,70	0,21	1,65	52,60	0,35	0,81	1,15

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito inicialmente nesse estudo de pesquisa, o beneficiamento do Fosfato Concentrado dado à composição físico-química extremamente heterogênea das reservas da mina da qual é feita a sua extração torna o mesmo bastante trabalhosa, uma vez que, essas características mudam com frequência, o beneficiamento do minério na usina de concentração é de difícil padronização. O comportamento de uma pilha de alimentação na recuperação do óxido de P_2O_5 varia muito e os parâmetros operacionais que deram um bom desempenho no beneficiamento, na maioria das vezes não se aplicam na próxima que entra na alimentação do processo. Essa variabilidade dos parâmetros operacionais no processo de beneficiamento do Fosfato tornam cada pilha um caso diferente do outro em termos de produtividade, o que é a motivação desse estudo e pesquisa na investigação desse conjunto de variáveis que possam contribuir para um melhor desempenho do processo.

O desenvolvimento do projeto de pesquisa foi realizado ao longo de seis meses e serão apresentados a seguir, conforme delimitados nos objetivos iniciais.

As especificações do produto final da usina de concentração são resultados de um planejamento estratégico da macro gestão da empresa. Algumas considerações feitas para se chegarem a essa especificação como exemplos seriam: o decapeamento (remoção) do estéril na mina, o avanço das frentes de lavra e suas caracterizações, o plano de metas e resultados. Em função de considerações como as citadas e outras, é que o planejamento estratégico da empresa então, define a especificação da produção.

A TAB. 3 nos indica a especificação do Fosfato Concentrado em porcentagens dos seus óxidos, considerado referencial para a pesquisa proposta nesse projeto, sendo o ritmo de produção estabelecida de 200 t/h (toneladas/hora), o que representa 4.800 t/d (toneladas/dia), definidas pela gestão da empresa.

Tabela 3 - Especificação do Fosfato Concentrado.

P_2O_5 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO(%)	CaO(%)	Al_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	SiO_2 (%)
35,03	2,35	0,43	49,34	0,485	1,65	2,15

4.1 Discussões iniciais

A seguir serão apresentados os resultados do monitoramento do processo, obtidos através das análises do Espectrômetro de Fluorescência de Raios X o *Axios Fast*, bem como os resultados alcançados em relação à taxa de alimentação do processo de beneficiamento do minério na usina de concentração e também os resultados obtidos pelas análises físicas referentes à granulometria, que melhor se adequaram ao volume de massa produzida propostos pela pesquisa nos objetivos iniciais desse projeto, que podem viabilizar um aumento na produtividade nas referidas condições operacionais.

Os resultados observados ao longo dos seis meses de pesquisa serão norteados pela seguinte sequência de apresentação:

1. Resultados referentes às análises do espectrofotômetro de fluorescência de raios X no monitoramento do processo em relação aos óxidos (%), acompanhamento mensal.
2. Resultados com desempenho melhores em relação aos óxidos (%), em cada um dos meses de monitoramento.
3. Resultados referentes às análises granulométricas (mesh), taxa de alimentação da usina de concentração (t/h) e as massas produzidas (t/h), em cada um dos meses de monitoramento.

Realizado o estudo de monitoramento da variabilidade de produção do Fosfato Concentrado, ao final da apresentação de todas as tabelas indicativas de desempenho das análises químicas referentes aos teores dos óxidos, e também das análises físicas dos desempenhos da granulometria e das taxas de alimentação da usina, será então discutida sobre os resultados que melhor se adequaram ou proporcionaram um rendimento, tanto em massa quanto em teores dos óxidos que superaram a especificação da produção.

Serão apresentadas primeiramente as tabelas das análises químicas e não as das análises físicas de granulometria, considerando que as análises são independentes e não prejudicam a compreensão da pesquisa.

A tabela 4 apresenta os resultados observados em relação ao mês de **Julho**, referentes ao monitoramento do processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*.

Tabela 4 - Resultados mês: Julho.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
1	8,90	34,43	34,91	35,27	2,27	0,27	48,86	0,25	1,75	2,17
2	8,98	33,91	35,43	35,05	2,48	0,25	48,85	0,16	1,80	2,22
3	8,89	34,42	34,69	34,98	1,96	0,31	49,26	0,26	1,95	2,34
4	8,89	34,55	35,15	35,09	2,00	0,33	49,36	0,26	1,86	2,11
5	8,91	35,10	34,11	35,21	2,16	0,27	49,46	0,19	1,88	2,09
6	8,88	34,83	33,33	34,92	2,30	0,25	49,51	0,25	2,01	2,13
7	8,22	35,08	33,15	34,74	1,77	0,15	50,21	0,14	2,15	2,21
8	8,22	35,11	31,70	35,25	1,59	0,11	50,51	0,29	1,88	2,16
9	8,16	33,71	33,30	34,51	1,90	0,20	50,22	0,54	1,95	2,01
10	8,25	35,20	35,00	35,48	1,77	0,27	50,40	0,67	1,83	1,87
11	8,04	34,98	34,74	35,78	2,62	0,33	49,06	0,49	1,71	1,77
12	8,04	34,49	34,42	35,62	2,58	0,33	48,48	0,39	1,49	1,67
13	8,04	34,67	35,06	35,24	2,64	0,37	48,29	0,45	1,68	1,86
14	8,35	35,64	35,71	36,03	2,36	0,35	49,03	0,36	1,55	1,66
15	8,23	35,18	34,00	35,39	2,48	0,39	48,63	0,46	1,70	1,76
16	8,24	34,66	34,17	35,55	2,66	0,34	48,61	0,51	1,68	1,75
17	8,24	35,43	37,00	36,53	2,10	0,28	49,33	0,38	1,55	1,63
18	8,24	34,93	34,67	35,59	2,68	0,36	48,48	0,42	1,45	1,60
19	8,27	35,26	34,95	35,64	2,54	0,39	48,74	0,41	1,51	1,65
20	8,30	34,44	34,97	35,28	2,47	0,43	48,45	0,49	1,73	1,76
21	8,30	33,88	34,89	35,39	2,29	0,40	48,60	0,43	1,75	1,80
22	8,30	33,69	34,95	35,13	2,25	0,40	48,60	0,52	1,70	1,75
23	8,33	34,79	34,02	35,53	2,13	0,36	49,00	1,13	1,63	1,71
24	8,43	34,19	35,39	35,69	2,39	0,37	48,75	1,03	1,55	1,65
25	8,41	34,66	33,55	35,42	2,57	0,39	48,19	0,92	1,59	1,63
26	8,41	35,84	35,90	35,71	2,64	0,39	48,52	0,90	1,49	1,55
27	8,41	35,48	35,75	35,45	2,56	0,41	48,57	0,88	1,52	1,61
28	8,37	34,76	35,15	35,70	2,25	0,40	49,03	0,86	1,47	1,55
29	8,28	35,43	35,55	34,74	2,27	0,49	49,32	0,68	1,68	1,76
30	8,33	34,83	35,12	34,88	2,15	0,52	49,58	0,89	1,71	1,80
31	8,28	35,66	35,69	35,32	2,00	0,50	49,77	1,07	1,68	1,77

A TAB. 5 indica os resultados que apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 5 - Resultados com melhor desempenho mês: Julho.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
10	35,48	1,77	0,27	50,40	0,67	1,83	1,87
11	35,78	2,62	0,33	49,06	0,49	1,71	1,77
12	35,62	2,58	0,33	48,48	0,39	1,49	1,67
14	36,03	2,36	0,35	49,03	0,36	1,55	1,66
15	35,39	2,48	0,39	48,63	0,46	1,70	1,76
16	35,55	2,66	0,34	48,61	0,51	1,68	1,75
17	36,53	2,10	0,28	49,33	0,38	1,55	1,63
18	35,59	2,68	0,36	48,48	0,42	1,45	1,60
19	35,64	2,54	0,39	48,74	0,41	1,51	1,65
21	35,39	2,29	0,40	48,60	0,43	1,75	1,80
23	35,53	2,13	0,36	49,00	1,13	1,63	1,71
24	35,69	2,39	0,37	48,75	1,03	1,55	1,65
25	35,42	2,57	0,39	48,19	0,92	1,59	1,63
26	35,71	2,64	0,39	48,52	0,90	1,49	1,55
27	35,45	2,56	0,41	48,57	0,88	1,52	1,61
28	35,70	2,25	0,40	49,03	0,86	1,47	1,55
Média	35,66	2,41	0,36	48,84	0,64	1,59	1,68

Resultados do processo monitorados no mês de Julho, através das análises granulométricas, conforme TAB. 6.

Tabela 6 - Análise granulométrica: Julho.

Julho-Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
10	1657	24,4	11,8	219,0
11	1704	22,4	12,3	227,0
12	1736	24,0	15,0	232,8
14	1572	22,1	17,9	227,1
15	1495	22,8	7,5	232,4
16	1752	21,5	10,8	270,9
17	1721	24,9	10,3	231,7
18	1728	23,6	14,3	229,1
19	1737	23,6	13,9	251,0
21	1706	20,6	13,9	226,4
23	1727	23,6	10,0	213,2
24	1736	22,8	12,3	258,8
25	1754	24,9	12,9	272,9
26	1711	23,5	13,0	247,3
27	1739	22,8	12,6	251,3
28	1633	23,7	14,1	221,4
Média	1694	23,2	12,7	238,3

Os resultados selecionados na TAB. 5 representam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,66 de P₂O₅ (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de

P_2O_5 (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 6 ela nos fornece as taxas de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser observado pelas médias: alimentação 1694 t/h, as malhas (#) 23,2 e 12,7 (%) e a massa produzida 238,3 t/h **superior** 200 t/h especificada pela produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

Avaliação dos resultados no mês de **Agosto**, referentes ao monitoramento do processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*.

Tabela 7 - Resultados: Mês Agosto.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P_2O_5	Fe_2O_3	MgO	CaO	Al_2O_3	TiO ₂	SiO ₂
	P_2O_5	P_2O_5	P_2O_5	P_2O_5	Fe_2O_3	MgO	CaO	Al_2O_3	TiO ₂	SiO ₂
1	8,81	34,32	34,73	35,40	2,17	0,33	50,08	0,54	1,51	2,35
2	8,88	33,33	34,50	34,92	2,08	0,37	49,45	0,56	1,63	2,42
3	8,84	34,36	34,78	35,13	1,92	0,36	49,90	0,59	1,55	2,38
4	8,90	34,71	34,82	35,21	1,86	0,34	49,86	0,51	1,54	2,30
5	8,94	33,91	33,52	35,26	1,98	0,36	49,90	0,32	1,59	2,31
6	8,92	33,56	34,55	34,43	2,38	0,40	49,92	0,32	1,70	2,45
7	8,72	35,44	35,84	35,69	2,19	0,35	50,27	0,26	1,63	2,39
8	8,82	35,71	35,34	35,54	2,51	0,46	49,63	0,59	1,75	2,33
9	8,90	34,22	34,92	35,11	2,57	0,44	49,21	0,38	1,70	2,29
10	8,90	34,16	35,70	35,84	2,28	0,44	49,98	0,46	1,49	1,88
11	8,90	33,82	34,37	35,54	2,34	0,47	49,73	0,45	1,52	1,92
12	8,80	33,62	34,41	35,03	2,30	0,48	49,34	0,43	1,68	2,37
13	8,83	34,35	34,99	35,03	1,80	0,47	49,87	0,26	1,69	2,43
14	8,83	34,07	34,35	35,05	1,89	0,48	49,98	0,37	1,59	2,41
15	8,96	35,35	36,37	35,81	1,68	0,40	49,98	0,38	1,57	2,15
16	8,83	34,35	34,79	35,01	1,94	0,45	50,27	0,40	1,72	2,45
17	9,05	32,84	34,28	35,29	1,81	0,42	49,75	0,63	1,70	2,34
18	8,97	34,05	34,09	34,15	2,00	0,45	49,85	0,73	1,89	2,30
19	9,06	35,26	34,13	35,33	1,72	0,37	50,78	0,74	1,74	2,28
20	9,06	35,41	31,77	35,04	1,80	0,41	50,60	0,67	1,82	2,33
21	9,06	34,98	34,24	35,17	1,70	0,42	50,36	0,71	1,80	2,31
22	9,05	35,91	36,08	35,83	1,76	0,31	50,03	0,65	1,94	2,49
23	9,05	34,81	34,09	34,90	1,75	0,30	50,07	0,62	1,90	2,51
24	8,89	34,81	33,94	35,14	1,65	0,27	50,74	0,55	1,81	2,49
25	8,87	34,87	34,89	34,94	1,81	0,28	50,58	0,63	1,83	2,58
26	8,53	35,67	35,43	35,62	1,73	0,30	50,36	0,67	1,75	2,53
27	8,25	35,50	36,67	35,86	1,84	0,36	50,05	0,65	1,81	2,62
28	8,25	35,65	35,63	35,70	1,88	0,34	50,58	0,75	1,55	1,98
29	8,25	34,18	34,41	35,11	2,15	0,38	49,72	0,80	1,68	2,45
30	8,37	34,81	34,64	34,58	2,55	0,45	49,22	0,89	1,75	2,61
31	8,50	35,51	35,50	35,76	1,97	0,38	50,08	0,80	1,69	2,22

A TAB. 8 apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 8 - Resultados com melhor desempenho mês: Agosto.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
1	35,40	2,17	0,33	50,08	0,54	1,51	2,35
7	35,69	2,19	0,35	50,27	0,26	1,63	2,39
8	35,54	2,51	0,46	49,63	0,59	1,75	2,33
10	35,84	2,28	0,44	49,98	0,46	1,49	1,88
11	35,54	2,34	0,47	49,73	0,45	1,52	1,92
15	35,81	1,68	0,40	49,98	0,38	1,57	2,15
22	35,83	1,76	0,31	50,03	0,65	1,94	2,49
26	35,62	1,73	0,30	50,36	0,67	1,75	2,53
27	35,86	1,84	0,36	50,05	0,65	1,81	2,62
31	35,76	1,97	0,38	50,08	0,80	1,69	2,22
Média	35,69	2,05	0,38	50,02	0,55	1,67	2,29

Desempenho dos resultados referentes ao mês de Agosto, pelo monitoramento do processo através das análises granulométricas.

Tabela 9 - Análise granulométrica: Agosto.

Agosto - Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
1	1736	24,9	12,9	238,3
7	1662	20,5	12,9	238,6
8	1592	20,2	16,3	228
10	1734	20,5	15,7	234,2
11	1746	21,1	13,6	222,5
15	1674	20,7	15,3	223,8
22	1750	20,4	18,7	238,3
26	1708	18,9	16,5	216,7
27	1743	16,9	16,1	208,9
31	1752	19,8	13,5	210,5
Média	1710	20,4	15,1	226,0

A TAB. 8 os resultados selecionados representam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,69 de P₂O₅ (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de P₂O₅ (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 9 ela nos fornece as taxas de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser observados pelas médias: alimentação 1710 t/h, as malhas (#) 20,4 e 15,1 (%) e a massa

produzida 226 t/h superou em 26 t/h a meta de produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

Monitoramento dos resultados em relação ao mês de **Setembro**, referentes ao processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*, conforme a tabela.

Tabela 10 - Resultados: Mês Setembro.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
1	8,30	34,74	34,22	35,01	2,25	0,53	49,23	0,26	1,70	2,20
2	8,39	35,48	35,38	35,49	2,27	0,52	49,68	0,16	1,72	2,23
3	8,87	33,99	31,65	34,16	1,93	0,48	50,08	0,72	1,82	2,32
4	8,87	35,03	33,57	34,76	1,50	0,45	50,61	0,54	1,79	2,19
5	8,87	35,86	31,41	35,32	1,15	0,38	51,33	0,17	1,67	2,01
6	8,84	34,99	31,98	34,80	1,51	0,42	50,47	0,32	1,72	2,13
7	8,57	35,53	34,50	35,26	1,77	0,49	50,45	0,27	1,75	2,03
8	8,60	34,81	32,57	34,96	1,94	0,50	50,17	0,23	1,77	2,13
9	8,60	34,96	33,55	34,86	1,91	0,52	50,21	0,40	1,80	2,19
10	8,60	35,28	33,09	35,14	1,69	0,51	50,28	0,34	1,76	2,05
11	8,36	35,87	35,09	35,53	1,40	0,45	50,35	0,22	1,75	2,09
12	8,27	35,71	34,84	35,56	1,23	0,41	50,44	0,22	1,81	2,19
13	8,18	35,47	34,09	35,02	1,52	0,50	50,94	0,32	1,83	2,05
14	8,17	35,22	34,82	34,76	1,78	0,49	50,07	0,46	1,75	2,22
15	8,32	35,06	31,75	34,40	1,97	0,51	49,88	0,38	1,89	2,36
16	8,32	35,28	35,28	35,51	1,88	0,51	50,19	0,26	1,61	2,02
17	8,34	35,85	34,92	35,49	1,79	0,60	50,30	0,27	1,58	1,98
18	8,37	35,99	35,75	35,83	2,00	0,63	50,42	0,31	1,52	1,89
19	8,11	34,77	34,95	34,85	2,31	0,65	49,27	0,31	1,79	2,13
20	8,09	34,74	34,95	34,70	2,20	0,69	49,30	0,30	1,68	2,17
21	8,09	34,87	34,61	34,99	2,00	0,65	49,24	0,38	1,72	2,11
22	8,31	35,09	34,19	34,95	1,88	0,76	49,15	0,38	1,70	2,17
23	8,53	35,66	34,95	35,58	2,08	0,72	48,83	0,39	1,76	2,11
24	8,44	35,30	34,65	35,09	1,55	0,56	49,60	0,29	1,65	2,11
25	8,44	35,84	35,70	35,81	1,49	0,65	49,62	0,29	1,80	2,22
26	8,39	35,63	34,80	35,56	1,56	0,63	49,92	0,32	1,61	1,99
27	8,95	34,79	35,90	34,84	2,02	0,70	49,36	0,27	1,75	2,14
28	8,95	34,17	35,31	34,68	2,20	0,75	49,23	0,32	1,80	2,27
29	8,95	35,42	35,71	35,69	1,92	0,64	49,78	0,31	1,51	1,98
30	8,86	35,55	35,78	35,66	2,60	0,68	49,04	0,34	1,49	1,87

A TAB. 11 indicam os resultados que apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 11 - Resultados com melhor desempenho mês: Setembro.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
2	35,49	2,27	0,52	49,68	0,16	1,72	2,23
5	35,32	1,15	0,38	51,33	0,17	1,67	2,01
11	35,53	1,40	0,45	50,35	0,22	1,75	2,09
12	35,56	1,23	0,41	50,44	0,22	1,81	2,19
16	35,51	1,88	0,51	50,19	0,26	1,61	2,02
17	35,49	1,79	0,60	50,30	0,27	1,58	1,98
18	35,83	2,00	0,63	50,42	0,31	1,52	1,89
23	35,58	2,08	0,72	48,83	0,39	1,76	2,11
25	35,81	1,49	0,65	49,62	0,29	1,80	2,22
26	35,56	1,56	0,63	49,92	0,32	1,61	1,99
29	35,69	1,92	0,64	49,78	0,31	1,51	1,98
30	35,66	2,60	0,68	49,04	0,34	1,49	1,87
Média	35,59	1,78	0,57	49,99	0,27	1,65	2,05

Abaixo os resultados observados referentes ao mês de Setembro, pelo monitoramento do processo produtivo através das análises granulométricas.

Tabela 12 - Análise granulométrica: Setembro.

Setembro - Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
2	1803	16,4	16,4	282
5	1917	20,2	13,3	232
11	2019	21,3	16,0	248
12	1860	23,8	15,3	224
16	2051	25,7	21,8	224
17	1984	27,0	14,7	212
18	1750	24,4	16,4	222
23	1708	24,6	16,1	255
25	1743	24,2	13,8	230
26	1752	21,8	17,8	227
29	1887	25,4	17,1	228
30	1849	24,5	16,1	241
Média	1860	23,3	16,2	235,3

Os resultados selecionados na TAB. 11 representam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,59 de P₂O₅ (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de P₂O₅ (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 12 ela nos fornece as taxas de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser

observados pelas médias: alimentação 1860 t/h, as malhas (#) 23,3 e 16,2 (%) e a massa produzida 235,3 t/h superou em 35,3 t/h a meta de produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

Na sequência os resultados observados em relação ao mês de **Outubro**, referentes ao monitoramento do processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*, conforme a tabela.

Tabela 13 - Resultados: Mês Outubro.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
1	8,90	33,66	35,71	34,34	2,89	0,71	48,35	0,38	1,97	2,56
2	8,68	35,54	35,85	35,57	2,31	0,63	49,44	0,21	1,59	2,11
3	8,22	34,43	34,04	34,79	1,99	0,65	49,87	0,19	1,87	2,46
4	8,15	34,99	34,90	35,04	1,95	0,67	50,42	0,14	1,78	2,22
5	8,02	35,43	34,65	34,86	1,45	0,68	50,00	0,30	1,85	2,37
6	8,02	35,72	34,36	35,13	1,46	0,70	50,71	0,09	1,82	2,29
7	8,02	35,60	36,71	35,71	1,42	0,70	50,30	0,20	1,86	2,41
8	8,15	35,63	36,90	35,89	1,33	0,67	51,01	0,18	1,80	2,19
9	8,33	35,45	34,55	35,51	1,54	0,64	51,05	0,48	1,91	2,29
10	8,33	35,30	34,35	35,01	1,19	0,57	50,69	0,74	1,82	2,21
11	8,32	34,72	33,39	34,94	1,37	0,63	51,00	0,23	1,83	2,31
12	8,44	34,24	34,38	34,32	1,72	0,69	50,55	0,14	1,99	2,64
13	8,64	35,35	34,36	34,23	1,83	0,75	50,32	0,14	2,01	2,73
14	8,91	35,56	36,55	35,89	1,43	0,65	50,23	0,60	1,86	2,37
15	8,95	34,21	34,82	34,64	1,68	0,60	49,58	1,28	1,90	2,39
16	8,99	34,97	35,19	35,26	1,48	0,60	50,39	1,26	1,83	2,19
17	8,82	34,58	34,74	34,16	2,11	0,69	49,39	1,34	2,05	2,73
18	8,83	35,59	35,17	35,69	2,10	0,72	49,38	1,47	1,88	2,61
19	9,32	36,35	36,52	35,60	1,87	0,70	49,92	1,23	1,63	2,04
20	9,07	35,10	33,88	34,98	1,98	0,74	49,89	0,99	1,68	2,07
21	9,38	35,58	35,15	35,49	1,88	0,79	49,78	1,09	1,70	2,04
22	9,53	35,24	35,02	34,94	1,62	0,66	49,74	1,31	1,75	2,11
23	8,31	34,84	34,09	31,35	1,58	0,65	45,73	1,23	2,89	3,17
24	8,78	35,46	34,52	34,96	1,78	0,67	50,05	1,28	2,73	2,93
25	8,38	35,42	34,62	35,38	1,79	0,67	49,59	1,46	2,21	2,45
26	8,90	35,74	35,04	35,66	1,73	0,65	50,18	1,17	1,69	2,09
27	8,67	34,72	35,02	34,47	2,81	0,74	48,77	1,18	1,88	2,17
28	8,42	34,87	34,72	34,42	2,42	0,70	49,13	1,19	1,90	2,27
29	8,43	35,09	35,53	35,62	1,94	0,64	50,22	1,02	1,66	2,08
30	8,48	35,58	35,06	34,87	2,09	0,63	49,49	1,06	1,70	2,17
31	8,48	35,72	33,74	35,82	2,13	0,62	50,15	0,92	1,68	2,01

A TAB. 14 indica os resultados que apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 14 - Resultados com melhor desempenho mês: Outubro.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
2	35,57	2,31	0,63	49,44	0,21	1,59	2,11
7	35,71	1,42	0,70	50,30	0,20	1,86	2,41
8	35,89	1,33	0,67	51,01	0,18	1,80	2,19
9	35,51	1,54	0,64	51,05	0,48	1,91	2,29
14	35,89	1,43	0,65	50,23	0,60	1,86	2,37
15	34,64	1,68	0,60	49,58	1,28	1,90	2,39
18	35,69	2,10	0,72	49,38	1,47	1,88	2,61
19	35,60	1,87	0,70	49,92	1,23	1,63	2,04
21	35,49	1,88	0,79	49,78	1,09	1,70	2,04
25	35,38	1,79	0,67	49,59	1,46	2,21	2,45
26	35,66	1,73	0,65	50,18	1,17	1,69	2,09
29	35,62	1,94	0,64	50,22	1,02	1,66	2,08
30	35,82	2,13	0,62	50,15	0,92	1,68	2,01
Média	35,57	1,78	0,67	50,06	0,87	1,80	2,24

Segue os resultados observados referentes ao mês de Outubro, pelo monitoramento do processo através das análises granulométricas.

Tabela 15 - Análise granulométrica: Outubro.

Outubro - Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
2	2029	20,1	16,1	256
7	2032	24,0	15,6	227
8	1912	20,4	20,8	219
9	1973	22,6	17,7	222
14	1687	23,3	24,1	237
15	1966	19,9	13,9	227
18	1960	27,1	23,7	232
19	1969	23,5	20,4	234
21	1854	26,7	17,8	219
25	2118	27,8	17,6	239
26	2178	26,0	18,4	233
29	2142	27,4	18,0	229
30	2048	26,7	18,7	227
Média	1990	24,3	18,7	230,8

Aqui os resultados selecionados na TAB. 14 representam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,57 de P₂O₅ (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de P₂O₅ (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 15 nos fornece as taxas

de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser observado pelas médias: alimentação 1990 t/h, as malhas (#) 24,3 e 18,7 (%) e a massa produzida 230,8 t/h superou em 30,8 t/h a meta de produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

Foram observados os seguintes resultados em relação ao mês de **Novembro** referentes ao monitoramento do processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*.

Tabela 16 - Resultados: Mês Novembro.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
1	9,18	35,49	35,84	35,84	2,52	0,63	49,63	0,39	1,19	1,96
2	9,15	35,59	35,25	35,63	2,18	0,56	49,79	0,37	1,49	2,01
3	8,94	35,51	33,61	35,16	2,27	0,59	49,37	0,31	1,39	1,88
4	8,85	35,71	34,90	34,77	2,37	0,60	48,58	0,33	1,51	1,84
5	8,94	35,76	35,58	35,95	2,54	0,60	49,45	0,36	1,61	1,92
6	8,98	35,81	35,49	35,58	2,58	0,69	49,04	0,31	1,54	1,95
7	8,78	34,63	35,17	34,96	2,19	0,69	48,94	0,34	1,49	1,88
8	8,69	34,61	35,59	35,05	2,54	0,68	49,47	0,31	1,71	2,09
9	8,36	35,54	36,30	35,67	2,12	0,71	49,35	0,45	1,72	2,17
10	8,34	34,87	34,71	35,14	2,67	0,74	49,29	0,46	1,70	2,34
11	8,75	34,04	35,45	33,97	2,40	0,77	48,24	0,51	1,89	2,30
12	9,09	33,58	34,17	34,72	1,96	0,70	49,40	0,36	1,74	2,28
13	9,09	33,69	35,02	35,21	2,00	0,64	50,18	0,34	1,82	2,33
14	9,01	34,08	34,62	34,65	1,87	0,67	49,36	0,29	1,80	2,31
15	8,64	33,83	34,94	34,82	1,68	0,68	49,62	0,41	1,94	2,49
16	8,69	35,88	35,37	35,76	1,93	0,72	49,46	0,42	1,90	2,11
17	8,10	35,91	35,75	35,65	2,10	0,69	49,35	0,47	1,81	2,19
18	8,10	34,81	33,65	34,07	2,48	0,70	49,13	0,51	1,81	2,62
19	8,08	34,81	34,91	34,70	1,93	0,69	49,23	0,41	1,55	1,98
20	7,97	34,87	35,80	35,52	1,49	0,67	50,41	0,27	1,68	2,11
21	7,97	35,67	33,32	35,20	1,46	0,64	49,90	0,37	1,75	2,61
22	8,15	35,50	33,03	34,66	1,69	0,73	50,06	0,45	1,51	2,35
23	8,52	35,65	35,98	35,88	1,83	0,71	49,50	0,47	1,63	2,15
24	8,52	34,18	36,08	35,30	1,56	0,58	49,92	0,34	1,55	2,38
25	8,61	35,81	34,09	35,79	1,68	0,56	49,18	0,37	1,54	2,12
26	8,35	35,51	33,94	34,98	1,73	0,57	49,16	0,32	1,59	2,31
27	8,30	35,87	34,89	35,25	1,85	0,56	49,84	0,34	1,70	2,45
28	8,33	34,29	35,43	34,92	2,06	0,61	49,67	0,39	1,63	2,39
29	8,18	35,58	36,67	35,93	2,14	0,63	49,23	0,41	1,75	2,03
30	8,11	35,47	35,63	34,71	2,05	0,64	48,91	0,37	1,70	2,29

Os resultados da TAB. 17 apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 17 - Resultados com melhor desempenho mês: Novembro.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
1	35,84	2,52	0,63	49,63	0,39	1,19	1,96
2	35,63	2,18	0,56	49,79	0,37	1,49	2,01
5	35,95	2,54	0,60	49,45	0,36	1,61	1,92
6	35,58	2,58	0,69	49,04	0,31	1,54	1,95
9	35,67	2,12	0,71	49,35	0,45	1,72	2,17
16	35,76	1,93	0,72	49,46	0,42	1,90	2,11
17	35,65	2,10	0,69	49,35	0,47	1,81	2,19
20	35,52	1,49	0,67	50,41	0,27	1,68	2,11
23	35,88	1,83	0,71	49,50	0,47	1,63	2,15
25	35,79	1,68	0,56	49,18	0,37	1,54	2,12
29	35,93	2,14	0,63	49,23	0,41	1,75	2,03
Média	35,75	2,10	0,65	49,49	0,39	1,62	2,07

Abaixo os resultados observados referentes ao mês de Novembro, pelo monitoramento do processo através das análises granulométricas.

Tabela 18 - Análise granulométrica: Novembro.

Novembro - Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
1	1977	19,7	12,8	226
2	2014	18,6	15,3	221
5	1851	24,5	15,9	220
6	1733	22,7	12,4	222
9	1653	22,4	12,5	216
16	1968	21,1	14,0	229
17	1940	19,0	18,2	224
20	1946	20,1	17,3	226
23	1985	23,9	16,7	216
25	2120	18,3	15,6	243
29	2088	22,3	18,3	239
Média	1934	21,1	15,4	225,5

Os resultados selecionados na TAB. 17 representam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,75 de P₂O₅ (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de P₂O₅ (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 18 ela nos fornece as taxas de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser

observados pelas médias: alimentação 1934 t/h, as malhas (#) 21,1 e 15,4 (%) e a massa produzida 225,5 t/h superou em 25,5 t/h a meta de produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

Acompanhamento dos resultados em relação ao mês de **Dezembro**, referentes ao monitoramento do processo, através das análises quantitativas dos óxidos obtidos pelo espectrômetro *Axios Fast*, conforme a tabela.

Tabela 19 - Resultados: Mês Dezembro.

Dia	Mina(%)	Concentrado	Concentrado	Fosfato Concentrado (%)						
		Grosso (%)	Granulado (%)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
1	8,19	35,21	32,11	34,89	2,12	0,65	49,31	0,46	1,82	2,27
2	8,39	35,38	33,01	34,79	1,97	0,68	49,90	0,47	1,91	2,35
3	8,42	35,72	35,26	35,54	1,76	0,61	50,22	0,43	1,66	2,04
4	8,41	35,15	35,59	35,47	1,74	0,63	49,65	0,22	1,72	2,27
5	8,07	34,97	33,20	35,29	1,56	0,59	49,55	0,34	1,51	2,35
6	7,83	35,48	33,99	34,67	1,77	0,68	50,15	0,83	1,63	2,42
7	7,82	34,09	33,80	34,00	1,87	0,65	50,57	0,34	1,55	2,38
8	7,74	35,82	35,28	35,66	2,12	0,55	50,31	0,30	1,54	2,30
9	7,38	35,12	34,16	34,30	1,84	0,54	50,78	0,20	1,59	2,31
10	7,36	35,49	34,90	35,85	1,90	0,52	50,35	0,17	1,70	2,15
11	7,73	35,81	34,93	35,95	1,94	0,64	50,66	0,29	1,74	2,28
12	7,79	34,79	34,47	35,07	2,15	0,57	49,58	0,30	1,82	2,33
13	7,78	34,77	34,38	34,87	2,12	0,56	50,21	0,23	1,80	2,31
14	7,90	34,63	35,85	35,63	1,87	0,59	50,58	0,25	1,94	2,49
15	8,00	34,90	34,10	34,35	2,05	0,62	51,22	0,30	1,90	2,51
16	7,93	35,54	35,56	35,55	1,76	0,58	52,50	0,25	1,81	2,49
17	7,88	34,73	36,20	35,47	2,08	0,50	49,36	0,28	1,83	2,58
18	7,84	35,44	35,00	35,63	1,98	0,38	48,87	0,22	1,75	2,53
19	7,82	35,53	34,58	35,32	1,89	0,47	48,54	0,25	1,81	2,62
20	8,05	35,65	35,65	35,66	1,97	0,38	49,19	0,18	1,55	1,98
21	8,07	34,34	35,48	34,87	2,24	0,45	48,17	0,26	1,49	2,01
22	8,18	35,67	35,70	35,79	1,74	0,37	48,41	0,20	1,39	1,88
23	8,16	35,50	34,37	35,43	1,66	0,35	49,33	0,16	1,51	1,84
24	8,03	35,65	34,41	35,29	1,57	0,34	49,15	0,15	1,61	1,92
25	8,02	34,18	34,99	35,55	2,03	0,38	48,16	0,23	1,54	1,95
26	8,34	34,81	34,35	34,98	2,17	0,40	48,53	0,28	1,49	1,88
27	8,48	35,51	35,75	35,65	2,51	0,41	47,74	0,26	1,71	2,09
28	8,32	35,87	33,65	35,42	2,73	0,42	47,16	0,30	1,68	1,94
29	7,86	34,29	34,91	34,55	2,23	0,39	47,87	0,51	1,73	1,99
30	7,85	35,58	35,80	35,66	2,28	0,38	48,47	0,29	1,65	2,05
31	7,93	35,47	35,21	34,77	2,07	0,35	48,10	0,33	1,77	2,07

A TAB. 20 indica os resultados que apresentam os melhores desempenhos com teores acima do especificado no monitoramento do processo produtivo.

Tabela 20 - Resultados com melhor desempenho mês: Dezembro.

Dia	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
3	35,54	1,76	0,61	50,22	0,43	1,66	2,04
4	35,47	1,74	0,63	49,65	0,22	1,72	2,27
8	35,66	2,12	0,55	50,31	0,30	1,54	2,30
10	35,85	1,90	0,52	50,35	0,17	1,70	2,15
11	35,95	1,94	0,64	50,66	0,29	1,74	2,28
14	35,63	1,87	0,59	50,58	0,25	1,94	2,49
16	35,55	1,76	0,58	52,50	0,25	1,81	2,49
17	35,47	2,08	0,50	49,36	0,28	1,83	2,58
18	35,63	1,98	0,38	48,87	0,22	1,75	2,53
20	35,66	1,97	0,38	49,19	0,18	1,55	1,98
22	35,79	1,74	0,37	48,41	0,20	1,39	1,88
23	35,43	1,66	0,35	49,33	0,16	1,51	1,84
25	35,55	2,03	0,38	48,16	0,23	1,54	1,95
27	35,65	2,51	0,41	47,74	0,26	1,71	2,09
28	35,42	2,73	0,42	47,16	0,30	1,68	1,94
30	35,66	2,28	0,38	48,47	0,29	1,65	2,05
Média	35,62	2,00	0,48	49,44	0,25	1,67	2,18

Na sequência os resultados referentes ao mês de Dezembro, pelo monitoramento do processo através das análises granulométricas.

Tabela 21 - Análise Granulométrica: Dezembro.

Dezembro - Dia	Taxa Alim. Usina (t/h)	AN Grosso (#)	AN Granulado(#)	Massa dia (t/h)
3	1850	20,4	14,6	218
4	1829	16,7	10,4	236
8	2018	20,4	8,6	225
10	1901	21,2	15,4	219
11	2005	21,5	14,0	233
14	1803	16,9	12,5	227
16	1917	16,9	11,9	231
17	2019	19,8	13,3	223
18	1860	22,7	12,4	231
20	2051	19,4	19,3	240
22	1984	27,8	14,7	236
25	1842	28,0	17,5	229
27	1751	21,9	11,9	234
28	1689	14,8	12,2	231
30	1702	21,0	12,5	239
Média	1881	20,6	13,4	230,1

A TAB. 20 indicam os valores das análises dos óxidos que superaram a especificação definidas pela produção, ou seja, podem ser evidenciados pela média de 35,62 de P_2O_5 (%), muito **acima** da especificação de 35,03 de P_2O_5 (%) do Fosfato Concentrado especificado na TAB. 3. Já a TAB. 21 ela nos fornece as taxas de alimentação, e também os resultados das análises granulométricas dos AN's grosso e granulado referentes à moagem do processo com melhores desempenhos, o que pode ser observado pelas médias: alimentação 1881 t/h, as malhas (#) 20,6 e 13,4 (%) e a massa produzida 230,1 t/h superou em 30,1 t/h a meta de produção. Já os demais valores de monitoramento que **não foram selecionados**, se devem ao fato de estarem abaixo da especificação tanto dos teores quanto da massa produzida.

O GRAF. 1 ilustra os teores com melhores desempenhos do óxido de P_2O_5 (%) em relação às médias dos meses monitorados no trabalho de pesquisa em relação ao teor especificado.

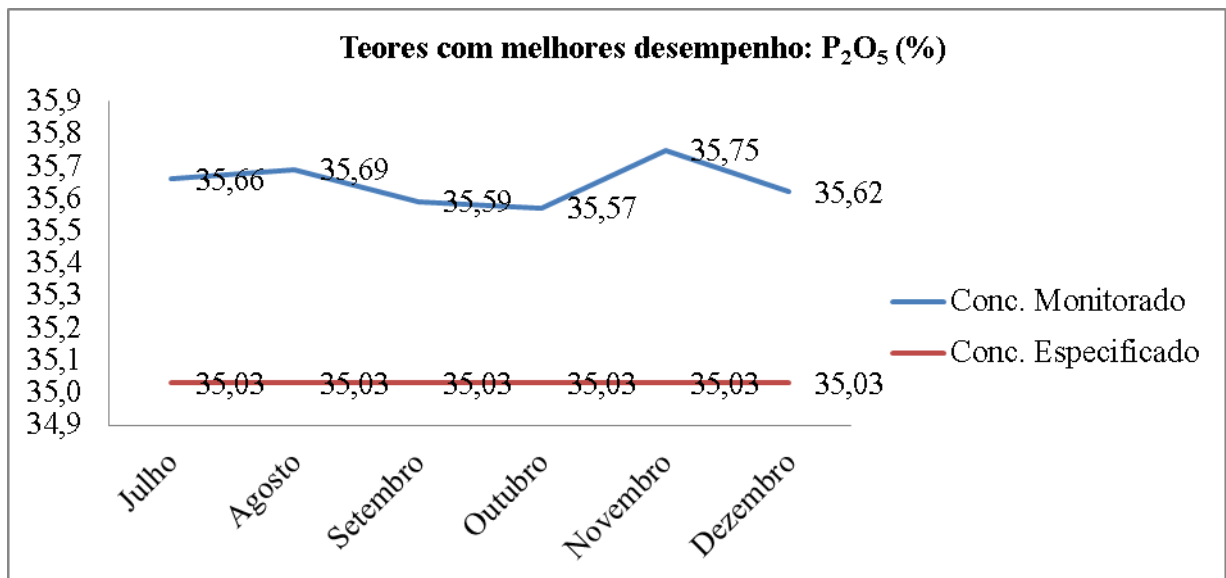


Gráfico 1 - Teor de Monitoramento: médias mensais.

Já o GRAF. 2 demonstra os resultados observados no processo em relação aos valores que representam um melhor desempenho da concentração do minério ao longo do semestre, referentes às análises quantitativas dos óxidos realizadas no espectrômetro de fluorescência de raios X *Axios Fast*, comparados com os teores de referência definidos na TAB. 3 com a especificação do Fosfato Concentrado.

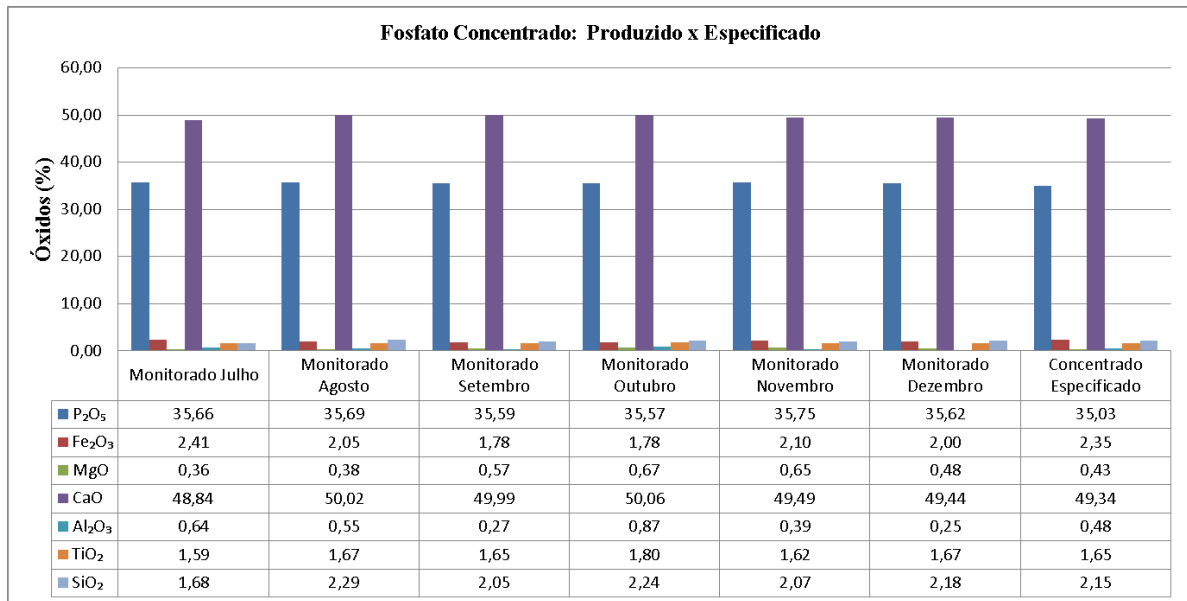


Gráfico 2 - Desempenho da produção: semestre.

No GRAF. 3 o desempenho da produção em relação aos resultados das análises granulométricas e também o rendimento em termos de massa produzida toneladas/horas (t/h), em cada mês de monitoramento compreendido pelo período da pesquisa desenvolvida, e finalmente as médias com melhores desempenhos para: Taxa de alimentação (t/h), e as malhas do AN's grosso e granulado em (#) mesh.

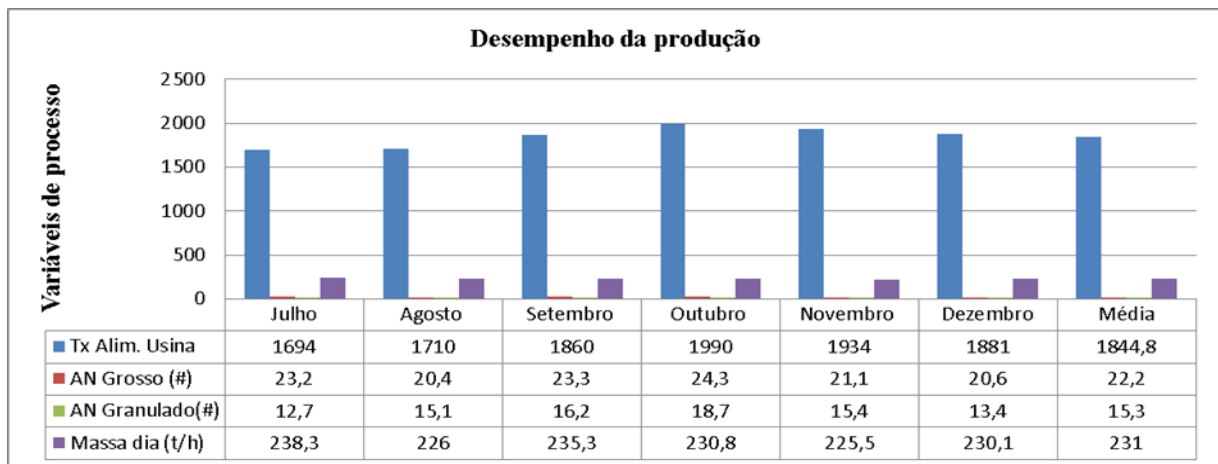


Gráfico 3 - Rendimento em massa (t/h): semestre.

O trabalho de pesquisa no monitoramento de variabilidade na produção de fosfato concentrado, conforme definido no objetivo geral e delimitados nos objetivos específicos, sugerem que os resultados aqui investigados através das **análises físicas** de granulometria, em relação aos valores com os melhores desempenhos e que potencializam um aumento na massa

de fosfato concentrado, conforme o GRAF.3 como sendo: a taxa de alimentação da usina de 1844,8 toneladas/hora, as malhas de granulometrias da alimentação do concentrado grosso (AN grosso) de 22,2 (#) mesh e da alimentação do concentrado granulado (AN granulado) de 15,3 (#) mesh, onde esses valores representam a média com melhor produtividade monitorada ao longo do semestre pesquisado.

O GRAF. 4 indica os resultados observados ao longo dos seis meses de pesquisa, com um aumento (ganho) da produção em função da massa produzida em toneladas/horas (t/h) de acordo com o desempenho individual de cada mês.

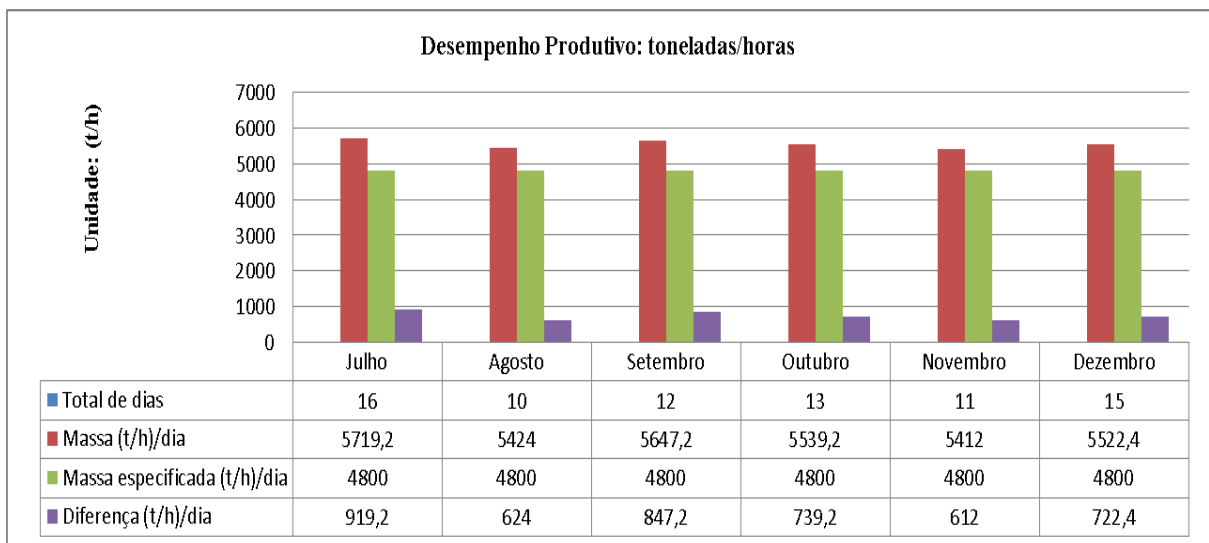


Gráfico 4 - Desempenho (t/h): Taxas produtivas.

De acordo com os resultados observados em relação a um melhor desempenho em termos de massa produzida monitorados no estudo de pesquisa o GRAF. 4, nos indicam mensalmente os desempenhos superiores observados em relação ao especificado pela produção e também a quantidade de dias em que a massa produzida foi maior que o planejado. Analisando o mês de Julho, observa-se que se produziu 919,2 (t/h)/dia a mais que o orçado para ser produzido, ou seja, o especificado para o dia era de 4800 (t/h)/dia e o estudo monitorou esse ganho produtivo, uma vez que a produção foi de 5719,2 (t/h)dia. Como no mês em 16 dias a média do desempenho superou o que foi especificado, observa-se um aumento significativo em relação à massa de fosfato concentrado produzida a mais ao longo desse mês. Essas considerações obedecem ao mesmo raciocínio para os outros cinco meses compreendidos pelo período do monitoramento de variabilidade na produção do Fosfato Concentrado.

O GRAF. 5 detalha um melhor desempenho da produtividade percentual de acordo com cada mês e finalmente, indica o aumento percentual médio da produção global (t/h) no período compreendido ao estudo de pesquisa em processos minerais: monitoramento da variabilidade na produção de fosfato concentrado com o uso da espectrometria de fluorescência de raios X.

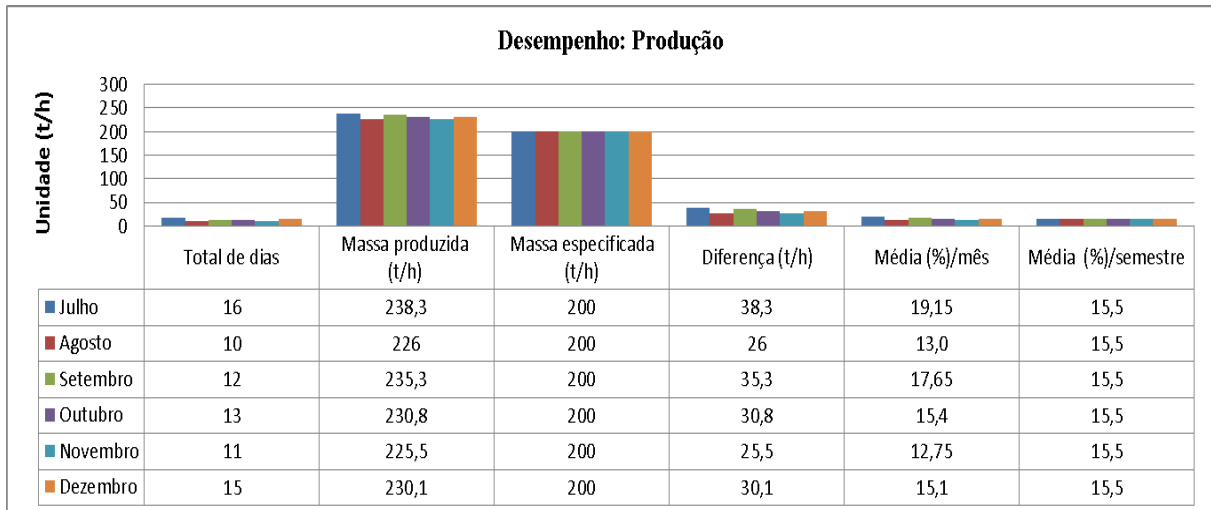


Gráfico 5 - Resultados finais.

Conforme observado no GRAF. 5, o mesmo indica um valor final, com um aumento potencial em função de massa produzida em t/h a mais do que a produção convencional de 15,5 %, sendo esse resultado uma média simples em relação aos seis meses de estudo e pesquisa. Esse percentual representa em massa 31 t/h a mais além da produção convencional especificada que eram de 200 t/h, ou seja, ao longo de 24 horas os ganhos observados no estudo e pesquisa em massa produzida é de 744 t/d a mais, considerando esses valores ao longo do processo produtivo global é bastante significativo. Os resultados finais aqui observados sugerem que os objetivos do estudo e pesquisa desse trabalho foram alcançados.

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram um aumento em termos de massa produzida (t/h) de 15,5 % em relação à meta de produção estipulada, conforme a proposta do corpo gerencial da empresa e utilizada como referencial neste trabalho de pesquisa.

A velocidade no fornecimento de dados sobre a composição química do minério em processamento, através da espectrometria de fluorescência de raios X traz como possibilidade um melhor aproveitamento da matéria prima utilizada na produção do Fosfato Concentrado, embora a complexidade das variáveis que envolvam a dinâmica total do beneficiamento seja muita além das aqui observadas e pesquisadas.

Os resultados são referentes à investigação ao longo de seis meses com monitoramento do processo produtivo do Fosfato Concentrado através das análises físicas e químicas geradas pelo laboratório.

Este trabalho evidencia a necessidade de estudos futuros e complementares para a otimização da produção de Fosfato Concentrado, em função da heterogeneidade do minério, da complexidade do processo produtivo e da gama de variáveis a serem monitoradas e controladas ao longo do beneficiamento mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE T. L.; BUENO, M. I. M. S. **Classification of some species, genera and families of plants by x-ray spectrometry. X-ray spectrometry**, v. 35, n.4, p. 257-260, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e de calibração (NBR-17025)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOOF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin-London: Springer, 2006.
- BORTOLETO, G. G. **Desenvolvimento de Métodos Analíticos Usando Espectrometria de Raios-X e Quimioterapia**. Tese de Doutorado. Campinas, 2007.
- BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**, Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 jan.2004. Seção 1, p. 2. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-4954-14-janeiro-2004-497758-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 07 jul. 2017.
- CDC. **Equipamentos**. Disponível em: <<http://cdc.ind.br>> Acesso em: 15 set. 2016.
- ENGENDRAR, **Tecnologia produzindo soluções**. Disponível em: <<http://www.engendrar.com.br>> Acesso em: 13 set. 2016.
- JANSSENS, K.; X-ray based methods of analysis In: JANSSENS, K.; VAN GRIEKEN, R. (Ed.) **Comprehensive Analytical Chemistry. - Non- destructive Micro Analysis of Cultural Heritage Materials**. Elsevier p. 129-226, 2004.
- JENKINS, R. **X-RAY Fluorescence Spectrometry**. Second edition. New York: Wiley, 1999.
- KATAOKA, Y. Standardless x-ray fluorescence spectrometry – Fundamental parameters method using sensitivity library. **The Rigaku J.**, v. 6 (1), p. 33-39, 1989.
- MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação sincrotron**. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, SP, 2007.
- MÜLLER, R. **Spectrochemical analysis by x-ray fluorescence**. New York: Plenum Press, 1972.
- NÓBREGA, Olímpio Salgado. **Química, volume único**. São Paulo: Ática, 2005. 225 p.
- NAGATA, N.; BUENO, M.I.M.S.; PERALTA-ZAMORA, P.G. **Métodos Matemáticos para Correção de Interferências Espectrais e Efeitos Inter elementos na Análise Quantitativa por Fluorescência de Raios-X**. **Química Nova**, v. 24, n.4, p. 531-539, 2001.
- OLIVEIRA, E. A. **Confiabilidade Metrológica na Determinação de Espécies Químicas e Materiais Siderúrgicos por Espectrometria de Fluorescência de Raios X**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado em Metrologia). Rio de Janeiro, 2011.

PANALYTICAL. **Axios Fast, características.** Disponível em: <<http://www.panalytical.com.br/axiosfast>> Acesso em: 15 set. 2016.

PATACA, L. C. M.; BORTOLETO, G. G.; BUENO, M. I M. S. **Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescência de raios-X por Energia dispersiva.** *Química Nova*, v.28, n. 4, p.579-582, 2005

QUIMIS. **Aparelhos científicos.** Disponível em: <<http://www.quimis.com.br>> Acesso em: 12 set. 2016.

REDÍGOLO, Marcelo Miyada **Determinação de elementos químicos em amostras de sangue humano e animais de experimentação (Hamster dourado e cavalo da raça crioula) pela técnica de fluorescência de raios X (EDXRF).** Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-materiais – IPEN, São Paulo, 2011.

RIBEIRO, J. L. B. **Estudo das interações rocha-fluido em arenitos inconsolidados com simuladores físicos utilizando tomografia computadorizada e microfluorescência de raios-X por luz síncrotron.** Tese (Doutorado em Química) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

SHIMADZU. **EDX 7000/8000 Espectrômetro de fluorescência de raios X por Energia Dispersiva.** Disponível em: <<http://www.shimadzu.com.br>> Acesso em: 02 Jun. 2017.

SILVA, André Luis S. **Licenciatura Plena em Química** (Universidade de Cruz Alta, 2004), Mestrado em Química Inorgânica (Universidade de Cruz Alta, 2007). Disponível em <[http://www.infoescola.com/quimica/compostos binarios](http://www.infoescola.com/quimica/compostos_binarios)> Acesso em: 07 jul. 2017.

SOLOTEST. **Equipamentos.** Disponível em: <<http://www.solotest.com.br>> Acesso em: 15 set. 2016.

ZSCHORNACK, G. **Handbook of X-Ray Data**, Berlin: Springer, 2007.