



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Ellen Moraes de Carvalho

**Análise do processo produtivo do cimento Portland da fábrica Mizu Cimentos -
POLIMIX**

MOSSORÓ

2023

Ellen Moraes de Carvalho

**Análise do processo produtivo do cimento Portland da fábrica Mizu Cimentos -
POLIMIX**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.
Orientador (a): Prof^a. Dra. Kalyanne Keyly
Pereira Gomes - UFERSA

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **KALYANNE KEYLY PEREIRA GOMES**
Data: 20/10/2023 10:42:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Kalyanne Keyly Pereira Gomes (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL REGINALDO FERNANDES**
Data: 20/10/2023 12:39:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIS NOVAIS MOTA**
Data: 20/10/2023 10:52:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luís Novais Mota (UFERSA)
Membro Examinador

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

CC331 Carvalho, Ellen Moraes de.

a Análise do processo produtivo do cimento
Portland da fábrica Mizu Cimentos - POLIMIX /
Ellen Moraes de Carvalho. - 2023.

53 f. : il.

Orientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes.
Relatório (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2023.

1. cimento Portland. 2. processo produtivo. 3.
Mizu cimentos. I. Keyly Pereira Gomes, Kalyanne ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados
fornecidos pelo autor (a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Reverência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Ellen Moraes de Carvalho

**Análise do processo produtivo do cimento Portland da fábrica Mizu Cimentos -
POLIMIX**

Identificação do estágio:
Empresa: Mizu Cimentos - POLIMIX
Supervisor: Jonas Medeiros de Paiva
Orientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes
Período: 05/06/2023 à 11/08/2023
Carga horária: 300 horas

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **KALYANNE KEYLY PEREIRA GOMES**
Data: 20/10/2023 10:42:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Kalyanne Keyly Pereira Gomes (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL REGINALDO FERNANDES**
Data: 20/10/2023 12:39:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIS NOVAIS MOTA**
Data: 20/10/2023 10:52:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luís Novais Mota (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho às minhas avós, Francisca Lucas de Carvalho (*In Memoriam*) e Rita Oliveira da Silva (*In Memoriam*), em reverências às mulheres que, com sua sabedoria, moldaram valores eternos para minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Aldenice e Manoel Germano por todo suporte, apoio, amor e educação que me proporcionaram ao longo dessa jornada, ao meu irmão Derick por ser fonte de inspiração e um grande parceiro.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido por ter me possibilitado a melhor formação que poderia ter tido e por ter me dado experiências únicas. Tenho orgulho de ter sido moldada por uma universidade pública e de qualidade. Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Química, pelas lições acadêmicas que modelaram o meu conhecimento, pela inspiração constante no tipo de profissional que quero me tornar, pelos desafios que me fizeram crescer e por toda base criada durante todos os anos de curso para minha formação acadêmica e pessoal. Em especial, agradeço a professora Kalyanne Keyly Pereira Gomes, por ter aceitado meu convite para orientar este trabalho, sou grata por toda a paciência, suporte e dedicação que sempre teve durante todo este período.

Ao meu supervisor de estágio, Jonas Medeiros de Paiva, que sempre foi muito solícito, agradeço por me orientar e sempre me ensinar além do que estava previsto no período do estágio, suas contribuições serão sempre lembradas em minha jornada de desenvolvimento profissional. Agradeço também aos engenheiros químicos Lucas Marques Bezerra e Yuri Galilleu por estarem comigo nesta etapa tão importante, contribuindo ainda mais nesta vivência. Agradeço a todos os integrantes da fábrica Mizu que estiveram comigo diariamente, durante todo o período sempre me acolheram bem e transmitiram com generosidade todos os conhecimentos da indústria cimenteira. Essa experiência foi marcante para minha formação, agradeço por ter tido meu primeiro contato no mundo profissional neste lugar. Em especial agradeço a toda equipe de Processos e Produção na qual compartilhei mais tempo, aos meus amigos: Rosário, Emerson, Júlio, Joarí, Iranilson, Clayton, Kayo, Raniery, Jeovane, Nicael, Helison, Cardoso, Paulo, Joseano, Vitor, Leila, Lícia e Raldenico, minha eterna gratidão.

Aos meus amigos e companheiros de graduação: Phillipe, Eduarda, Fernanda, João Paulo, Gabriel, Bruna, que vivenciaram comigo toda essa jornada de curso, compartilhamos dores, conquistas, alegrias e tristezas. Em especial, agradeço ao meu amigo Rútilo, que esteve comigo durante todo árduo percurso, apesar de todas as aventuras enfrentadas sempre podia contar com o seu apoio e descontração, tornando essa etapa mais tranquila.

“A vitória pertence ao mais obstinado”

Roland Garros

RESUMO

O cimento Portland é considerado como o aglomerante mais utilizado na indústria da construção civil, esse material é um pó fino que ao ser hidratado e seco adquire propriedades com alta resistência mecânica, servindo como elemento fundamental para o desenvolvimento urbano. Para a sua fabricação é requerido diversas etapas até obtenção do produto final com alta qualidade, incluindo extração das matérias-primas, moagem, formação do clínquer e adição de materiais aditivos. Através desses processos é possível obter diversos tipos de cimento. Nesta área o engenheiro químico possui importância, pois este profissional será capaz de garantir o monitoramento de todo processo e regular o controle de qualidade, tornando a atuação deste como fundamental para o funcionamento da fábrica. O objetivo deste trabalho é representar as etapas do processo produtivo do cimento Portland adotado pela Mizu Cimentos, unidade fabril de Baraúna-RN e também detalhar as atividades desenvolvidas durante as 300 horas do estágio obrigatório supervisionado.

Palavras-chave: cimento Portland; processo produtivo; Mizu cimentos.

ABSTRACT

Portland cement is regarded as the most widely used binder in the construction industry. This material is a fine powder that, when hydrated and dried, acquires properties with high mechanical strength, serving as a fundamental element for urban development. Its production involves several stages to achieve the final product with high quality, including the extraction of raw materials, grinding, clinker formation, and the addition of additive materials. Through these processes, it is possible to obtain various types of cement. In this field, the chemical engineer holds significance, as this professional ensures the monitoring of the entire process and regulates quality control, making their role pivotal for the factory's operation. The objective of this work is to outline the stages of the Portland cement production process adopted by Mizu Cimentos, the manufacturing unit located in Baraúna-RN, and also to provide details about the activities carried out during the 300 hours of mandatory supervised internship

Keywords: Portland cement; production process; Mizu cimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nomenclatura do cimento Portland	23
Figura 2 - Processo produtivo do cimento Portland	30
Figura 3 - Britador de martelos.....	32
Figura 4 - Método Chevron	33
Figura 5 - Moinho vertical de rolos	35
Figura 6 - Representação do silo de armazenamento	35
Figura 7 - Torre de ciclones com 5 estágios.....	37
Figura 8 - Torre de arrefecimento da Mizu	38
Figura 9 - Torre de ciclones e Calcinador	39
Figura 10 - Representação das etapas de clinquerização.....	41
Figura 11 - Correntes de ar geradas pelo resfriador	43
Figura 12 - Interior do moinho de bolas	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes minerais majoritários no clínquer do cimento Portland	18
Tabela 2 - Limites de composição do cimento Portland (porcentagem em massa)	23
Tabela 3 - Composição das bancadas da mina	32
Tabela 4 - Relações e etapas de clinquerização.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Cimento Portland	16
3.2 Matérias-primas para a formação do clínquer	16
3.2.1 Calcário.....	16
3.2.2 Argila.....	17
3.2.3 Escória de Aciaria.....	17
3.2.4 Materiais corretivos para a farinha	17
3.3 Clínquer.....	18
3.3.1 Silicato tricálcico – Alita (C_3S)	19
3.3.2 Silicato bicálcico – Belita (C_2S)	19
3.3.3 Aluminato tricálcico (C_3A).....	19
3.3.4 Ferroatuminato tetracálcico (C_4AF)	20
3.3.5 Equações da composição do clínquer	20
3.4 Matérias-primas aditivas para o cimento Portland	20
3.4.1 Gesso	20
3.4.2 Escória de alto forno.....	21
3.4.3 Materiais carbonáticos.....	21
3.4.4 Argila Pozolana	21
3.5 Classificação do Cimento	22
3.5.1 CP I – Cimento Portland comum.....	23
3.5.2 CP II – Cimento Portland composto tipo II.....	24
3.5.3 CP II-E – Cimento Portland composto com escória.....	24
3.5.4 CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana.....	24
3.5.5 CP II-F – Cimento Portland composto com filer.....	25
3.5.6 CP III – Cimento Portland de alto forno.....	25
3.5.7 CP IV – Cimento Portland pozolânico	25
3.5.8 CP V-ARI – Cimento Portland com alta resistência inicial	25

3.5.9 Outros tipos de Cimento	26
3.3 Controle de Qualidade	27
3.3.1 Fator de Saturação de Calcário (FSC)	27
3.3.2 Módulo de Sílica (MS)	27
3.3.3 Módulo de Alumínio (MA)	28
3.3.4 CaO livre	28
3.4 Mizu Cimentos – Unidade de Baraúna-RN.....	28
4 PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND DA FÁBRICA MIZU	
CIMENTOS - POLIMIX	30
4.1 Mineração, Exploração e Britagem	30
4.2 Pré-Homogeneização	32
4.3 Silos dosadores de farinha	33
4.4 Moagem de cru e armazenamento da farinha	34
4.4.1 Filtros.....	35
4.5 Torre de ciclones	36
4.5.1 Torre de Arrefecimento	37
4.6 Calcinador	38
4.6.1 Coque de petróleo	39
4.6.2 Coprocessamento	39
4.7 Forno Rotativo	40
4.8 Resfriador.....	42
4.9 Moagem de Cimento.....	43
4.10 Ensaque e Expedição	44
5 ATIVIDADES REALIZADAS NO ESTÁGIO.....	45
5.1 Inspeção nos silos CFI	45
5.2 Inspeção na torre de arrefecimento	45
5.3 Inspeção nos filtros	45
5.4 Determinação de ar falso	46
5.5 Momento de chama	46
5.6 Medição de vazão de ar e gases	46
5.7 Verificação de temperatura	47
5.8 Avaliação de carga no moinho de bolas.....	47
5.9 Determinação do ponto de orvalho	47
5.10 Preenchimento das variáveis diárias de processos	47

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2017), a palavra cimento é originada do latim *caementu*, que designa a “uma pedra natural de rochedos não esquadrejada”. A origem desse material provém há 4500 anos, é evidenciado que os povos egípcios viviam em constante busca de um material que resistisse a umidade e com alta durabilidade, a partir de então desenvolveram um tipo de cimento através de gesso calcinado, com essa mistura foram capazes de desenvolver grandes construções históricas como as pirâmides do Antigo Egito, as outras civilizações em conjunto foram também desenvolvendo outras misturas de ligas contendo: terras vulcânicas, areia, calcário calcinado etc., para o desenvolvimento das grandes obras da Antiguidade (ABCP, 2019).

A partir do final do século XVIII diante da Revolução Industrial, a produção do cimento ganhou impulso, os cientistas europeus queriam descobrir a fórmula perfeita para obter o cimento hidráulico, material este ainda pouco desenvolvido. Diante da necessidade dos processos de urbanização e industrialização em escala global, deu-se origem ao cimento Portland, atribuída ao construtor inglês Joseph Aspdin que no ano de 1824 queimou pedras de calcário e argila, originando um pó fino, ao adicionar água a essa mistura observou que ao secar o material possuía características duras, semelhantes a pedras utilizadas na construção civil, o produto foi patenteado com essa nomenclatura por apresentar semelhanças com as rochas da ilha britânica de Portland (SNIC, 2017).

No Brasil, a indústria do cimento surge paralelamente a indústria têxtil e alimentícia, em 1897 é instalada a primeira fábrica de cimento no país, em São Paulo, sem muito sucesso devido à dificuldade de encontrar matéria-prima para fabricação do produto, deslocamento custoso e a importação ser mais barata que a produção, a indústria cimenteira no país não obteve êxito nessa época. Apenas no final da década de 1920 a indústria do cimento começou a obter importância no mercado, esta razão deve-se a urbanização de várias cidades do país, entrada de capital estrangeiro para a construção das unidades fabris e grande apoio do Estado para o fortalecimento desse setor (Santos, 2011).

Para implantar uma indústria de cimento é preciso saber se o local atende os requisitos precisos para a sua fundação, fatores como matérias-primas para o desenvolvimento da atividade, localização geográfica, fonte de energia, mão-de-obra, ação governamental e vias de escoamento da produção, são características fundamentais para instalação desse tipo de fábrica. A região Nordeste possui condições privilegiadas para a fabricação de cimento, visto que esta região possui em abundância reservas de insumos essenciais para obtenção do

produto (calcário e gipsita), além disso, a região está localizada próxima a portos (facilita a exportação para outros mercados). Por estas razões grandes grupos cimenteiros buscam por atuar nessa região como por exemplo: Votorantim, Apodi, Inter Cement, João Santos, Lafarge e POLIMIX (Santos, 2011).

A empresa Mizu Cimentos, pertence a um dos grandes grupos investidores de cimento, a POLIMIX Concreto, está presente em diversos estados brasileiros como: Amazonas, Espírito Santo, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro, Sergipe, São Paulo, Pará, Fortaleza e Minas Gerais. Presente há 25 anos no mercado, a marca possui histórico de tradição, prestando serviços com alta qualidade e consciência ambiental. Uma das principais fábricas do grupo, está presente no RN, a fábrica da unidade de Baraúna, possui grandes destaques na sua linha de produção, é uma das fábricas mais completa da marca, com área de mineração e exploração, duas linhas de produção, utilização de materiais coprocessáveis como alternativa de combustível, ensaque e expedição, todos esses critérios são feitos com qualificação tanto que é certificada pela ISO 9001 (Mizu, 2020).

Este trabalho possui como objetivo apresentar as 300 horas desenvolvidas durante o estágio supervisionado obrigatório na fábrica Mizu Cimentos, unidade de Baraúna-RN, será detalhado todo o processo produtivo do Cimento Portland desde a etapa de mineração até a expedição do produto, também será abordado os parâmetros de qualidade, as medidas ambientais e descrição sobre todos os equipamentos e insumos presentes na etapa de produção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Acompanhar todas as etapas da produção de fabricação do cimento Portland da unidade industrial Mizu Cimentos, localizada em Baraúna-RN e aprender como o Engenheiro Químico pode desenvolver suas habilidades neste mercado.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender todos os processos até a fabricação do cimento Portland.
- Avaliar parâmetros de controle para as variáveis de produção.
- Assegurar a manutenção e otimizar o desempenho dos equipamentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cimento Portland

Segundo a NBR 5732 (1991), o cimento Portland é definido como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozzolânicos, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos. Considerado como um material pulverulento, constituído por silicatos e aluminatos de cálcio que ao ser misturado com água produzem uma massa endurecida com alta resistência mecânica (Romano, 2004).

Para a fabricação desse produto é preciso extrair matérias-primas como calcário e argilas silicosas, aluminosas e ferruginosas, esses materiais serão britados, dosados e homogeneizados, o resultado será uma mistura química denominada de farinha crua, que será submetida à queima em um forno rotativo a altas temperaturas, o produto será resfriado bruscamente obtendo o clínquer de Portland, este que será moído junto a materiais aditivos para obter as características adequadas do cimento Portland (Lacerda, 2005).

3.2 Matérias-primas para a formação do clínquer

O cimento Portland é formado a partir de misturas em proporções adequadas de clínquer e gesso, a sua composição pode conter outros materiais aditivos para atribuir melhores características a sua estrutura, desde que a norma técnica seja aplicada, a seguir serão listadas as matérias-primas necessárias para a formação da farinha crua, material este que antecede a formação do clínquer.

3.2.1 Calcário

O calcário é uma rocha sedimentar carbonática, sua formação se deve ao acúmulo de microrganismos em ambientes marítimos por milhares de anos. O principal constituinte desse material é o carbonato de cálcio (CaCO_3), na natureza também pode ser encontrado acompanhado de substâncias como: óxidos de ferro, alumínio, silício, óxido de magnésio, sódio e potássio (Lima, 2011). Esse insumo pode ser encontrado em jazidas que afloram à superfície, a extração é feita a céu aberto através de detonações. O calcário é o componente que mais influência na fabricação do cimento, principalmente na etapa de moagem da farinha

de cru, onde será britado até atingir a finura requerida (Oliveira, 2012), além disso é um material importante para diluição do cimento, por ser um composto com grande abundância e com baixo custo é utilizado na moagem desse produto para reduzir o teor de outras substâncias mais caras, tornando o processo mais econômico desde que os parâmetros se enquadrem nas normas técnicas.

3.2.2 Argila

A argila tem como função compor a farinha de cru fornecendo óxidos como dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), esses compostos são necessários para a formação de silicatos de cálcio a temperaturas mais baixas, quando não estão presentes em quantidades suficientes precisam de minério de ferro para compor a mistura para formar os minerais do clínquer (Simões, 2022). Um problema existente desse insumo na moagem da farinha é sua grande retenção de água, afetando o desempenho do britador com alto consumo de energia e frequência de obstruções (Oliveira, 2012).

3.2.3 Escória de Aciaria

A escória de aciaria é um subproduto encontrado na indústria siderúrgica, sua composição química é semelhante à encontrada no cimento Portland (silício, alumínio, ferro, cálcio, entre outros), porém a quantidade dos óxidos formados por esses elementos químicos difere substancialmente, sua utilização é usada para corrigir o teor de ferro da farinha crua (Polisseni, 2005). O uso desse material na construção civil é vantajoso sob o ponto de vista econômico e também ambiental, possibilitando a redução de emissão de poluentes, consumo energético e volume de extração de matérias-primas não renováveis. Para a indústria do cimento, esse insumo tem como vantagem de diminuir o consumo de energia para a obtenção do clínquer (Neves, 2018).

3.2.4 Materiais corretivos para a farinha

Para produzir uma farinha crua de boa qualidade garantindo um bom desempenho no processo de clinquerização, faz-se o uso de insumos adicionais que ajudam a manter a composição do produto dentro das especificações. Por esta razão, materiais como: argila, minério de ferro, areia, xisto e outros materiais secundários podem ser adicionados no

processo de moagem da farinha para a obtenção do controle de qualidade do cimento como: fator de saturação, módulo de sílica e módulo de alumina.

3.3 Clínquer

O clínquer é o principal constituinte do cimento, é um material resultante da calcinação de até aproximadamente 1450°C de uma mistura de calcário e argila, além de componentes corretivos de natureza silicosa, aluminosa e ferrífera, que são empregados de modo a garantir a composição química da mistura dentro de limites específicos (Centurione, 1999). As reações que ocorrem para a formação do clínquer é chamada de clinquerização, neste processo irá ocorrer a formação de componentes essenciais como: silicato tricálcio, silicato bicálcio, aluminato tricálcio e ferro-aluminato tetracálcio conforme visto na Tabela 1 com suas devidas contribuições para o cimento Portland (Kihara, 1973).

Tabela 1 - Componentes minerais majoritários no clínquer do cimento Portland

Nome	Fórmula Química	Abreviação	%	Contribuição no desempenho do cimento Portland
Silicato tricálcio ou Alita	$(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$	C_3S	50-70	Durabilidade e resistência total
Silicato bicálcio ou Belita	$(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$	C_2S	10-20	Durabilidade de longo prazo
Aluminato tricálcio ou Aluminato	$(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	1-15	Durabilidade e tempo de pega
Ferro-aluminato tetracálcio ou Ferrita	$(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	0,5-15	Cor cinza do cimento e pega muito rápida

Fonte: Paula (2010)

Além dos minerais citados, o clínquer também vai conter elementos como: alumínio, ferro, magnésio, sódio, potássio, cromo, titânio, manganês, fósforo, entre outras impurezas

que para sua cristalização dependem da composição, finura da farinha, tratamento térmico e reações de difusão entre as fases sólidas e líquidas (Paula, 2010). Caso o processo de clinquerização não ocorra de forma eficiente ou se houver muitas impurezas na farinha, irá aparecer compostos minoritários que irão afetar o desempenho da queima e qualidade do produto final como a cal livre (deve ser controlado a 1%, indica a quantidade de farinha que não foi reagida completamente) e óxido de magnésio livre (provoca a lenta expansão após a hidratação do cimento Portland, sendo muito perigoso em uma obra de construção civil) (Oliveira, 2012).

3.3.1 Silicato tricálcico – Alita (C_3S)

Esse mineral é o constituinte mais importante na formação do clínquer, é obtido através da reação entre CaO e SiO_2 , é importante que esteja presente entre 50-70% em massa. O cristal reage de forma rápida com a água liberando alto calor de hidratação, é o principal responsável pelo desenvolvimento de toda resistência mecânica no cimento e também das suas características físicas e químicas, sendo o foco principal do controle de qualidade das cimenteiras (Trinta, 2019).

3.3.2 Silicato bicálcico – Belita (C_2S)

Este cristal é o segundo constituinte mais importante no processo de clinquerização, corresponde a 10-20% em massa. A sua reação ocorre de forma mais lenta com a água liberando menos calor de hidratação, possui uma baixa resistência mecânica inicial, mas que vai crescendo com tempo (Oliveira, 2011).

3.3.3 Aluminato tricálcico (C_3A)

O C_3A constitui cerca de 1-15% do peso do clínquer, reage rapidamente com a água, atuando no desenvolvimento das resistências iniciais, é o responsável pelo controle da pega inicial, reage rapidamente com a água e cristaliza em poucos minutos, é o mineral que apresenta maior calor de hidratação (Oliveira, 2011).

3.3.4 Ferroaluminato tetracálcico (C₄AF)

Esse componente constitui de 5-15% em massa do clínquer, é importante na resistência a corrosão química, além de ser o responsável pela coloração cinza do clínquer devido a presença do ferro. Esse cristal libera baixo calor de hidratação e também é responsável pelo controle à corrosão química (Trinta, 2019).

3.3.5 Equações da composição do clínquer

O cálculo potencial de Bogue (1947) é um método para a obtenção das fases do clínquer estimada estequiometricamente a partir de análises químicas, este método só leva em consideração as quatro principais fases do clínquer, por esta razão é um cálculo muito limitado, porém ainda é muito utilizado na indústria de cimento como parâmetro aproximado (Trinta,2019). As equações são apresentadas a seguir:

$$C_3S = 4,07 \text{ CaO} - 7,60 \text{ SiO}_2 - 6,72 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,43\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_2S = 8,60 \text{ SiO}_2 + 1,08 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 5,07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 3,07 \text{ CaO}$$

$$C_3A = 2,650 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,692 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_4AF = 3,043 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

3.4 Matérias-primas aditivas para o cimento Portland

Depois que a farinha é produzida e colocada no forno para obtenção do clínquer, ainda é preciso adicionar outros constituintes para o produto ter as características de cimento Portland, os materiais são usados para melhorar as propriedades do cimento tornando mais adequado para aplicações específicas, também para melhorar sua resistência e durabilidade, permitindo a flexibilidade do material diante da sua formulação para atender necessidades específicas diante de diferentes aplicações em busca da otimização do desempenho. A seguir serão listados esses aditivos e suas características.

3.4.1 Gesso

Existem dois tipos de gesso usados na indústria do cimento: gesso natural ou sulfato de cálcio di-hidratado (CaSO₄.H₂O), que é proveniente do mineral gipsita. Esse material é fundamental e obrigatório para a fabricação de qualquer tipo de cimento porque possui função

ao ser adicionado ao clínquer regular o tempo de pega, ou seja, o tempo de endurecimento do produto. Quando a água é adicionada ao cimento o gesso reage recristalizando ao invés de reagir com o mesmo. Quimicamente, o C_3A (aluminato) que foi formado na clínquerização é altamente reativo com a água e endurece rápido, a reação que ocorre libera muito calor podendo causar fissuras pela evaporação da água presente na pasta do cimento, a hidratação do gesso propicia a formação de uma camada impermeável em torno do C_3A regulando esse tempo de endurecimento, por esta razão é permitido trabalhar com o cimento sem a preocupação de que vá endurecer instantaneamente (Oliveira, 2012).

3.4.2 Escória de alto forno

A escória é um subproduto resultante do processo produtivo da produção de ferro em alto forno, pode ser obtido de forma granulada através de resfriamento brusco. Sua composição química é rica em silicatos e alumino-silicatos de cálcio (Romano, 2004). Esse composto tem substâncias semelhantes às dos componentes do clínquer, podendo ser um substituinte desse material dependendo da proporção utilizada. Este insumo pode ser adicionado ou não, depende das características do produto que se quer obter, na indústria do cimento a escória de alto forno é usada na produção de cimento do tipo CP II-E e CP III, trazendo vantagens como redução de custos produtivos, boa resistência e durabilidade (Martins, 2016).

3.4.3 Materiais carbonáticos

Esse material é composto por carbonato de cálcio ($CaCO_3$), muito utilizado como insumo de diluição, reduzindo o teor de outros componentes de maior custo, é empregado como elemento de preenchimento e lubrificante, fazendo com que o produto se torne mais plástico (Castro, 2016). No cimento é usado na forma de *filler*, e o mais utilizado é o filler de calcário, este que apresenta pequenas propriedades hidráulicas e é considerado como um material inerte (Fante, 2020).

3.4.4 Argila Pozolana

É considerado pozolânico todo material natural (materiais de origem vulcânica ou sedimentar) ou artificial (provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com

atividade pozolânica), silicoso ou sílico-aluminoso, que não tem atividade hidráulica, ou seja, não reage isoladamente na presença da água, porém ao ser moído e reagido com hidróxido de cálcio na presença de água e temperatura ambiente, irá formar um novo composto com propriedades cimentícias e insolúveis em água (Zampieri, 1989).

A adição da pozolana no cimento propicia vantagens técnicas como: aumento da resistência ao ataque químico de cloretos e águas sulfatadas, reduzem o calor de hidratação, aumenta as resistências mecânicas, diminui a tendência de segregação dos materiais e permeabilidade (Christófolli, 2010).

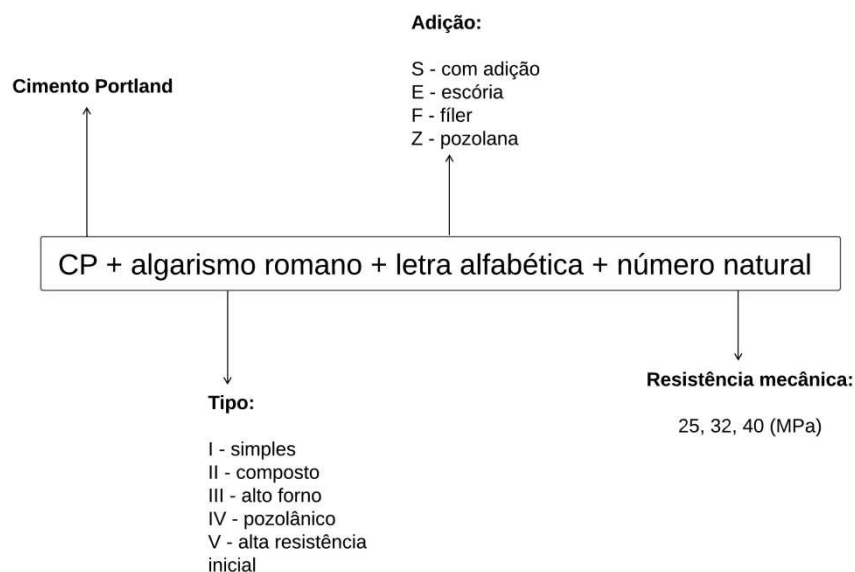
3.5 Classificação do Cimento

O mercado da construção civil exige variações de tipos de cimento para atender as demandas de projetos e aplicações, por essa razão é possível encontrar diversos cimentos com diferentes características, cada um em busca de atender as demandas específicas na determinação da resistência, durabilidade e funcionalidade das estruturas. No Brasil, existem 11 tipos de cimento Portland, a seguir a lista de alguns dos principais produtos que são comercializados:

- Cimento Portland comum (CP I)
- Cimento Portland composto com escória (CP II-E)
- Cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z)
- Cimento Portland composto com fíler (CP II-F)
- Cimento Portland de alto forno (CP III)
- Cimento Portland pozolânico (CP IV)
- Cimento Portland com alta resistência inicial (CP V-ARI)

É exigido que na embalagem do cimento tenha as especificações sobre a sua composição, a abreviatura para denominar esse produto é composta por: sigla CP do cimento Portland, algarismo romano que indica o tipo de cimento (I, II, III, IV e V), letra alfabética denominando qual o tipo de adição (S, E, F e Z) e número natural que informa a resistência mecânica do produto em MPa (25, 32 e 40 MPa) conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Nomenclatura do cimento Portland



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Tabela 2 pode ser visto as composições do cimento Portland de acordo com o percentual da quantidade de componentes adicionados, estes dados tem como referência a norma em vigência a NBR 16697/2018.

Tabela 2 - Limites de composição do cimento Portland (porcentagem em massa)

Sigla	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
CP I	95-100		0-5	
CP II-E	51-94	6-34	0	0-15
CP II-Z	71-94	0	6-14	0-15
CP II-F	75-89	0	0	11-25
CP III	25-65	35-75	0	0-10
CP IV	45-85	0	15-50	0-10
CP V-ARI	90-100	0	0	0-10

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

3.5.1 CP I – Cimento Portland comum

Este tipo de cimento é o mais simples, recebe este nome por não possuir nenhum tipo de aditivo a não ser a adição de gesso, pode ser designado também como CPI-S, este difere por possuir 6 a 10% de material carbonático em sua composição. Este tipo de cimento é adequado para uso de construções de concreto quando não há exposição a sulfatos do solo ou águas subterrâneas, logo é mais utilizado para particularidades menos exigentes em termos de desempenho mecânico. Por muito tempo foi utilizado como base de estudo para desenvolver os outros tipos de cimento, foi visto que poderia desenvolver produtos semelhantes com objetivo de atender casos especiais se fosse adicionado componentes adicionais (ABCP, 2002).

3.5.2 CP II – Cimento Portland composto tipo II

Esse produto tem em sua composição a adição de outros materiais, que propiciam ao cimento menor calor de hidratação, logo libera menos calor quando entra em contato com a água. O CPII apresenta melhor resistência ao ataque de sulfatos contidos no solo sendo recomendado para obras na forma de argamassa, concreto simples, pré-moldados, e artefatos de cimento. Esse tipo de cimento apresenta diferentes tipos de composições que variam de acordo com as adições, a seguir as características dos três tipos desse material (ABCP, 2002).

3.5.3 CP II-E – Cimento Portland composto com escória

O CPII-E é considerado como material composto por possuir na sua composição além de clínquer e gesso, a escória de alto forno e também pode conter um percentual de material carbonático. Esse cimento é recomendado para estruturas que exijam um desprendimento moderado ou lento de calor ou que possam ser atacadas por sulfatos, a adição da escória neste material propicia baixo calor de hidratação (NBR 16697/2018).

3.5.4 CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana

Neste cimento será adicionado a sua composição o material pozolânico, podendo ainda conter material carbonático em sua composição, por esta razão o produto é mais impermeável tornando-o mais durável, essa adição também melhora a resistência a ataques de sulfatos. Esse material pode ser empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais,

para produção de argamassas, concreto simples, elementos pré-moldados e artefatos de cimento (ABCP, 2002).

3.5.5 CP II-F – Cimento Portland composto com filer

Em sua composição será adicionada cerca de 11 a 25% em massa de material carbonático, e o restante sendo de clínquer + gesso. Esse cimento pode ser utilizado para aplicações em geral como para estruturas de concreto armado, pavimentos de concreto, argamassa, revestimento, pisos outras finalidades, porém não é recomendado para aplicações em meios muito agressivos (ABCP, 2002).

3.5.6 CP III – Cimento Portland de alto forno

Esse cimento apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência a sulfatos. Sua composição é feita por clínquer + gesso, pode ser adicionado de 35 a 75% de escória de alto forno e 0 a 10% de material carbonático. É bastante aplicável em situações gerais, podendo ser utilizado para obras de larga escala como: construções de barragens, esgotos, pavimentações tanto em estruturas de concreto simples, assentamento, revestimento entre outras funções (ABCP, 2002).

3.5.7 CP IV – Cimento Portland pozolânico

O CP IV possui como adicional a pozolana, o percentual desse composto adicional varia entre 15 a 50% de massa total, por possuir esta grande proporção desse material garante ao cimento alta durabilidade e impermeabilidade. É o produto indicado para obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos, sua resistência à compressão é superior ao concreto formado pelo cimento Portland comum (ABCP, 2002).

3.5.8 CP V-ARI – Cimento Portland com alta resistência inicial

Este tipo de cimento possui em sua composição apenas clínquer + gesso e um percentual de massa total de até 10% de material carbonático, é um tipo particular de cimento devido a sua alta resistência, esse produto apresenta resistência à compressão de 26 MPa em 1 dia, chegando a 53 MPa em 28 dias. A sua alta resistência deve-se a sua composição, a dosagem de argila e calcário para a produção do clínquer é diferente das demais, esse cimento

também tem a característica de ser o mais fino de todos quando moído, possibilitando que ao reagir com a água sua resistência seja aumentada com alta velocidade devido ao aumento da área superficial de suas partículas. É muito utilizado em obras industriais para o preparo de concreto e argamassa, e também para todos as construções que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida (ABCP, 2002).

3.5.9 Outros tipos de Cimento

Além dos cimentos já especificados, existem outros tipos que podem ser encontrados no mercado, como por exemplo o cimento Portland resistente a sulfatos (CP – RS), que possui função de proporcionar resistência a ambientes agressivos sulfatados, a NBR 16697 diz que qualquer tipo de cimento Portland anteriormente citado pode ser considerado dessa classe desde que atenda as especificações de dosagem, será preciso ter teores precisos na formação do clínquer e nos materiais adicionais (NBR 16697/2018).

Outro tipo existente é o cimento Portland de baixo calor de hidratação (CP – BC), também pode ser possível ser encontrado em todos os citados previamente, desde que na nomenclatura seja acrescido BC e após ensaios físicos possuam característica de retardar o desprendimento de calor, evitando fissuras de origem térmica devido ao calor desenvolvido durante o processo de hidratação do cimento (NBR 16697/2018).

O cimento Portland branco (CPB) é mais um tipo presente no mercado, difere dos demais pela sua coloração, que se deve pela forma como a matéria-prima foi formada, esse cimento pode ser classificado como estrutural e não estrutural, na sua composição está presente clínquer + gesso e material carbonático como o único elemento adicional. Possui as mesmas aplicações que um cimento normal, o diferencial será a possibilidade de escolha da cor que o cliente irá desejar para o seu projeto, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos (NBR 16697/2018).

Por fim tem-se o cimento para poços petrolíferos (CPP), este que possui uma norma específica para sua fabricação e sua produção é diferenciada dos outros. Este cimento possui aplicabilidade específica, na sua composição possui apenas clínquer e gesso e todo o processo precisa ser feito de forma que garanta as propriedades plásticas do produto em condições de temperatura e pressão elevadas, pois será aplicado em grandes profundidades durante a aplicação em poços petrolíferos (NBR 9831/2006).

3.3 Controle de Qualidade

Para comercializar o cimento Portland é necessário adotar medidas de qualidade para garantir as propriedades desejadas para sua finalidade. Esse controle é feito através de testes realizados durante a produção e após fabricação do produto, todos os critérios devem atender as normas regulamentadoras afim de assegurar o que será comercializado, abaixo serão listadas algumas das principais análises feitas.

3.3.1 Fator de Saturação de Calcário (FSC)

O fator de saturação de calcário é uma medida utilizada para avaliação da composição da mistura de matérias-primas que serão usadas para a formação do clínquer, esse parâmetro relaciona a quantidade de óxido de cálcio com os demais componentes que ele reage (sílica, alumina e óxido de ferro) e dado pela Equação 1 (Taylor, 1997). Um alto valor de FSC indica que se tem mais CaO do que o necessário para reagir com os outros compostos, dessa forma ele irá sobrar e não será combinado no clínquer, também provoca a difícil queima da farinha e expansividade do cimento. O valor de FSC entre 94 - 97% propicia uma melhor formação do clínquer e com menos uso de combustível, facilitando dessa forma a queima da farinha (Cáceres, 2018).

$$FSC = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,2Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3} \times 100 \quad (1)$$

3.3.2 Módulo de Sílica (MS)

O módulo de sílica é a relação entre os materiais não fundentes (sílica) com os materiais fundentes (alumina e ferro) dada pela Equação 2, é usada para determinar a correlação entre os componentes de elevada atividade hidráulica (C_3S e C_2S) e a fase líquida (C_3A e C_4AF) que são formados no processo de clínquerização, visto que nessa etapa todo ferro se combinará com cálcio e alumínio para formar C_4AF , o alumínio que sobra se combina com o cálcio e forma o C_3A e todo silício se combina com o CaO para formar o C_3S (Brancão, 2020). Um valor alto de MS implica na elevação da carga térmica do forno, reduz a quantidade da fase líquida, o clínquer resultante será pulverulento, a queima da farinha será difícil, terá alto consumo de combustível, tende a causar expansibilidade, dificulta a formação de colagens consequentemente deteriora o revestimento refratário, retarda a pega e o desenvolvimento da resistência final do cimento. Um baixo valor de MS resulta no excesso de

fase líquida, menor consumo térmico, formação de colagens com baixo ponto de fusão afetando o refratário, formação de clínquer com alta dureza e o cimento com baixa resistência. Os valores de referência desse parâmetro se encontram entre 2,3 – 2,7 (Itaú, 2011).

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (2)$$

3.3.3 Módulo de Alumínio (MA)

O módulo de alumínio é representado pela relação dos dois fundentes: alumina e ferro, como exposto na Equação 3. Este parâmetro possui relação direta com o desenvolvimento da fase líquida, esses óxidos no processo de clinquerização auxiliam na redução da temperatura no forno e controlam a viscosidade na composição do clínquer, tem como referência valores entre 1,3 – 1,6 (Cáceres, 2018). Um alto valor de MA determina uma queima mais difícil com maior quantidade de combustível, aumenta a quantidade de aluminato (C_3A) e reduz a de ferrita (C_4AF), reduz a quantidade de fase líquida e produção do forno, aumenta a viscosidade da fase líquida, resulta em alto calor de hidratação. Um valor baixo de MA resulta em uma fase líquida menos viscosa, baixo calor de hidratação, cimento com baixa resistência inicial (Itaú, 2011).

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (3)$$

3.3.4 CaO livre

A cal livre refere-se à quantidade de óxido de cálcio que está presente no clínquer que não conseguiu reagir com a sílica ou alumínio para formação dos principais cristais. É recomendado que o valor desse parâmetro não ultrapasse de 1%, em casos de altos teores de cal livre implica na ocorrência de algum problema no processo de formação do clínquer, esse fator é muito importante na indústria do cimento para garantir um processo de clinquerização de qualidade (Trinta, 2019).

3.4 Mizu Cimentos – Unidade de Baraúna-RN

A Mizu Cimentos é uma empresa do grupo POLIMIX, presente no mercado brasileiro há 25 anos, a fábrica possui capacidade de produzir 7 milhões de toneladas de cimento por

ano, possui unidades de produção e distribuição em 13 estados brasileiros. O cimento produzido por esta marca oferece ao consumidor um produto de alta qualidade atendendo todos os critérios estabelecidos pelas normas regulamentadoras, além disso a empresa possui políticas efetivas na gestão ambiental e responsabilidade social com seus integrantes e com as comunidades locais que estão inseridas (MIZU, 2020).

Em 2012 no município de Baraúna-RN a fábrica Mizu Cimentos teve sua inauguração, a implantação desta unidade buscou suprir o aumento da demanda do cimento na época, grandes obras estavam previstas nesse período através do Plano de Aceleração do Desenvolvimento (PAC), obras do programa Minha Casa, Minha Vida e principalmente para as construções dos eventos: Copa do Mundo 2014 e Jogos Olímpicos de Verão Rio 2016 (IDEMA, 2010).

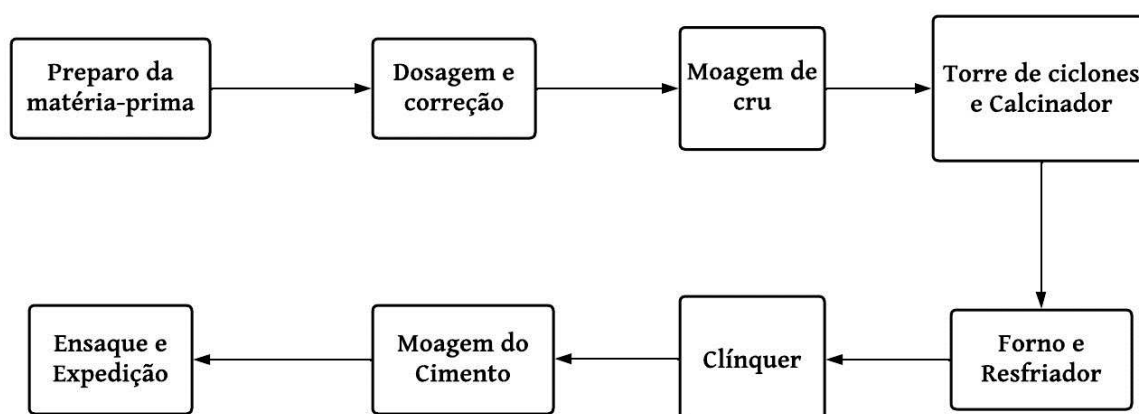
A instalação da unidade nesse município se atribui a alguns fatores, tais como sua localização estar entre duas capitais regionais, Natal e Fortaleza, o que dá mais notoriedade, além de fazer limite com a cidade de Mossoró, que possui rodovias federais como forte influência na economia. Outra contribuição foi a abundância de matéria-prima na região, o calcário da Formação Jandaíra, facilita o processo de extração e exploração para a produção do cimento. O clima da região semiárida propicia também a logística do processo de fabricação, não tendo que se preocupar com umidade nas matérias-primas, por fim a atuação governamental, que foi fundamental para inauguração da fábrica, o empreendimento foi beneficiado pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Industrial (PROADI). A inserção da fábrica trouxe modificações não só para o mercado cimenteiro da região, mas também para o município, tornando-o uma figura importante na economia do estado, tendo sua infraestrutura modificada, gerando mais empregos, promovendo surgimento de novos tipos de comércio e investindo em políticas educacionais para os jovens do município como o programa FORMARE (Silva, 2017).

Atualmente, esta unidade é uma das principais atuantes do grupo Mizu Cimentos, por possuir duas linhas de produção simultâneas e ter a capacidade de possuir todas as etapas do processo desde a mineração até o ensaio e expedição do produto. A empresa conta ainda com um laboratório de qualidade onde é realizado todos os parâmetros para produção de um cimento de alta qualidade e ainda produz cimentos para ensaio e a granel como: CP II-F, CP III, CP IV, CP V-ARI e CPP.

4 PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND DA FÁBRICA MIZU CIMENTOS - POLIMIX

O processo produtivo do cimento envolve várias etapas que necessitam de uma série de operações bem coordenadas que garantam uma produção de alta qualidade, pode ser dividido em três etapas principais: extração e preparação das matérias-primas, cozedura e moagem. Este tópico tem como objetivo descrever os detalhes do processo realizados na fábrica Mizu Cimentos da unidade de Baraúna-RN, esta que adota um sistema de produção por via seca na qual a farinha produzida será totalmente seca e alimentado ao forno, os principais processos realizados pela fábrica podem ser vistos de forma sintetizada pela Figura 2.

Figura 2 - Processo produtivo do cimento Portland



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.1 Mineração, Exploração e Britagem

A primeira etapa do processo de produção começa na extração das matérias-primas, o calcário será retirado das jazidas próximas a fábrica, local conhecido como mina de Velame II, a mina é constituída por três níveis cada um com 15 metros de altura, cada nível é rico com uma matéria-prima específica conforme exposto na Tabela 3, o mineral será extraído por pedreiras, a céu aberto. Para a extração desse minério é preciso realizar um planejamento sobre a bancada, este termo é utilizado na mineração para definir a faixa horizontal de material geológico que está sendo explorado. Na Mizu estas bancadas são nomeadas de acordo com o nível (1º, 2º ou 3º), ponto cardeal que está presente (North, South, East, West) e posição denominado pela sequência de letras (A, B, C), por exemplo: 2WA, indica que a

bancada é do 2º nível, está presente no oeste e na posição A. É importante pontuar que todas as atividades realizadas na mina precisam de um alto grau de planejamento, todas as ações precisam ser feitas pensando na vida útil do ambiente, a tomada de decisões consciente e sustentável no presente é fundamental para garantir as operações a longo prazo da mineração, na fábrica estima-se que a mina possui planejamento até 2065 e até 10 níveis para serem explorados até lá.

Depois do planejamento é feito um “plano de fogo”, onde nesta etapa será detalhado todo o processo para o desmonte da bancada com o objetivo de fragmentar a rocha escolhida. O plano de fogo consiste em descrever onde os furos de perfuração que receberão os explosivos precisam estar, qual o tipo de explosivo que deve ser utilizado, qual deve ser a ordem de detonação, quantidade de material detonante, tempo de duração da detonação e também detalhar as medidas de controle de segurança durante a ação. Quando o plano de fogo é efetuado, ocorre o tombamento do material, a bancada analisada será perfurada por brocas através de um caminhão perfuratriz, é importante que a angulação, diâmetro e profundidade sejam respeitados como está descrito no plano, também é importante ao realizar essa etapa deixar uma abertura, uma espécie de folga entre os furos, porque pode ser possível encontrar pedras com diâmetros maiores que o previsto e o material detonante não seja capaz de fragmentar a pedra caso não tenha esse espaço.

O material resultante desta etapa é denominado de pó de perfuração, este que deve ser coletado e entregue ao laboratório de qualidade para realizar um estudo sobre as propriedades da bancada. Após as análises do laboratório e escolha das bancadas que serão perfuradas, os furos são preenchidos com explosivos e um tampão, os explosivos são acionados e a bancada é desprendida até que as rochas tenham seu tamanho diminuído. O material da ação será recolhido por caminhões basculantes com ajuda de escavadeiras hidráulicas, sendo transportado até o britador.

O britador é um dos principais equipamentos para realização das operações da mineração, esta máquina tem como objetivo reduzir o tamanho dos blocos de minério que foram introduzidos na sua moega afim de reduzir o tamanho do que foi alimentado, conforme pode ser visto na Figura 3, na Mizu este aparelho tem como produção média 6500 ton/dia. O seu funcionamento se dá através de uma sequência de martelos de aço giratório que promovem o máximo esmagamento em um curto espaço de tempo. É importante que seja sempre feita manutenção neste equipamento para que não entre materiais úmidos e pesados de forma que possam reduzir a sua eficiência. O material ao ser britado passará por um escaneador eletrônico que coleta os dados através de raios gamas, o equipamento manda

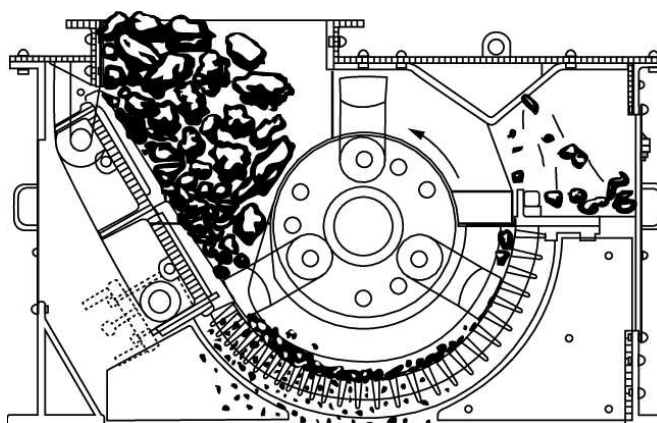
informações a cada 2 minutos para a equipe de controle da mineração, o analisador fornece dados de fator de saturação, módulo de sílica e módulo de alumina, fazendo com que seja mais fácil saber a composição da bancada que está sendo britada e poder fazer alterações na receita da farinha caso seja preciso.

Tabela 3 - Composição das bancadas da mina

Composto (% massa)	1º nível	2º nível	3º nível
CaO	> 52	48 – 50	50-52
MgO	< 2	2 – 4	1-3
SiO ₂	< 1	< 3	1-3

Fonte: Arquivos Mizu

Figura 3 - Britador de martelos



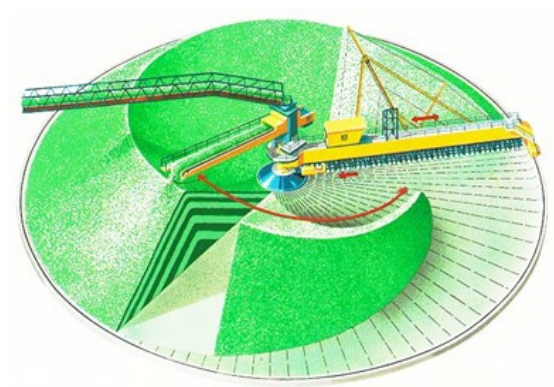
Fonte: Shah (2018)

4.2 Pré-Homogeneização

A pré-homogeneização é uma etapa importante depois que o material é britado, tem como objetivo minimizar efeitos de variações na composição química da matéria-prima, visto que o material recolhido da mina não é totalmente homogêneo. Após o processo de britagem o material é levado através de uma correia transportadora para a pré-homo, local onde será realizado a homogeneização. O sistema é composto por uma empilhadora (*stacker*) e uma retomadora (*reclaimer*), o método utilizado é *Chevron* contínuo. A matéria-prima é depositada pela empilhadeira formando uma pilha através de movimentos vai e vem, essa ação se repete com a formação de várias camadas com diferentes composições, todas devem

possuir mesma espessura. Simultaneamente o material passa pela retomadora, onde a pilha formada será cortada transversalmente por um desagregador removendo as camadas formadas, a retomadora homogeneíza e transporta o material até o centro da pré-homo, onde será levado por uma correia subterrânea até os silos dosadores do calcário, a Figura 4 demonstra como este método pode ser demonstrado. A pré-homo da Mizu, tem capacidade de armazenar 50 mil toneladas, garantindo segurança de estoque para a produção durante 5 dias caso os dois fornos estejam operando.

Figura 4 - Método Chevron



Fonte: FLSMIDTH (2013)

4.3 Silos dosadores de farinha

O material proveniente da pré-homo é transportado até o silo dosador, equipamento que irá armazenar e dosar a matéria-prima, nele está inserido um dispositivo de dosagem que permite controlar a quantidade de material que deve seguir para o moinho de cru, esta etapa é importante para a formação de uma farinha de boa qualidade, o laboratório controla a receita do produto, verificando todos os módulos e a saturação, quem comanda todas essas ações é o painel central da fábrica. Na Mizu existem 4 silos dosadores nesta etapa, três em funcionamento simultaneamente com a produção contendo as matérias-primas da produção da farinha crua como calcário, argila, escória, entre outros, e um fica livre caso ocorra problema com algum dos outros.

4.4 Moagem de cru e armazenamento da farinha

O material dosado e corrigido devidamente é transportado por esteiras até o moinho de cru, equipamento que irá moer a matéria-prima até a formação da farinha crua. O moinho de cru é um dos principais equipamentos da produção, este que é também chamado de moinho de rolos vertical, possui 4 rolos sobrepostos em uma mesa giratória que fazem compressão do material, recebe constantemente a alimentação proveniente dos silos dosadores no centro da mesa, promovendo atuação da força centrífuga que arrasta o material para as extremidades. No processo é injetado uma quantidade de água para que o material ao cair no prato não espalhe, retardando o processo e reduzindo a vibração do equipamento, também existe entrada de ar quente para reduzir a umidade da farinha, esse ar é proveniente dos gases quentes do forno que entram no moinho através de um exaustor. O material é então moído e homogeneizado dentro do moinho até obter uma granulometria menor e uma finura específica, esta farinha irá passar por um separador, os materiais finos serão separados dos grossos que retornarão ao sistema para serem moídos novamente, a Figura 5 demonstra como o equipamento é representado. Para Oliveira (2012) quanto mais fino o cru, mais fácil e melhor seu cozimento, porém isso significa mais gasto de energia, então não se deve obter uma farinha mais fina que o necessário para uma boa queima. Na saída do moinho a farinha passa por dois ciclones onde as partículas serão separadas dos gases e depois passarão por filtros de processo para que essa etapa seja intensificada e nenhum gás possa ser emitido.

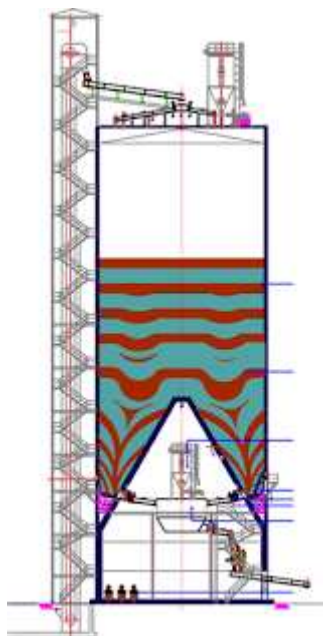
O destino da farinha produzida é o silo de armazenamento, que tem como função garantir alimentação contínua do forno, homogeneizar toda farinha presente constantemente e armazenar esse material. O silo da Mizu é conhecido como CFI, em seu interior possui um cone invertido para propiciar a melhor homogeneização da farinha, também contém oito pontos de extrações, que são acionadas em pares, mas em diferentes intervalos de tempo, adicionalmente um conjunto de válvulas de ar que são ativadas promovendo a mistura contínua do material, impedindo qualquer acúmulo, o que possibilita o uso da farinha em diversas áreas do silo de forma mais uniforme, o CFI tem capacidade de armazenar 8000 toneladas e dentro dele há um compartimento conhecido como silo pulmão, local que é destinado a alimentar as torres de ciclone. Na Figura 6 é possível visualizar como este equipamento é representado.

Figura 5 - Moinho vertical de rolos



Fonte: ZQG Cement (2011)

Figura 6 - Representação do silo de armazenamento



Fonte: Sanghavi group (2017)

4.4.1 Filtros

Os filtros podem ser denominados de filtros de mangas ou filtros de processos, está presente em todas as etapas de produção com a finalidade de separar as partículas sólidas das partículas gasosas, as sólidas retornam para o sistema voltando para o processo enquanto as gasosas saem da operação pelas chaminés. A Mizu se destaca por sua abordagem de emissão

zero de particulados na atmosfera, o que impulsiona a implementação de rigorosas medidas de segurança em seu sistema de filtragem para garantir sua eficiência.

4.5 Torre de ciclones

A farinha que sai do silo pulmão é transportada até um elevador de canecas, este que irá levar o material até o topo da torre de ciclones para abastecer continuamente o forno. A torre tem função de pré-aquecer, separar, secar e pré-calcinar a farinha alimentada, que nesta etapa é denominada de farinha produzida, esses processos ocorrem em 5 estágios, ou seja, 5 ciclones. Por meio da recirculação de gás quente advindo do forno, a torre de ciclones promove o transporte da farinha, devido a diferença de temperatura entre o gás e o sólido ocorre a troca de calor, o ciclone separa o gás do sólido, para que a farinha entre no forno e o gás aqueça os outros estágios, dessa forma é feita a retirada da umidade do material e o pré-aquecimento. A farinha é alimentada através do duto de ascensão no segundo ciclone e é transportada até o primeiro ciclone, neste trecho os fluxos estão de forma concorrente, ao entrar no ciclone ocorre a separação do gás e da farinha, os gases sobem pelo duto de imersão e a farinha desce, encontrando no estágio inferior gases mais quentes em fluxo contracorrente. Este processo pode ser visto na Figura 7 e se repete em cada estágio até que a farinha entre no forno e o gás seja reaproveitado no moinho de cru, se estiver funcionando, caso não esteja operando o destino desse gás é a torre de arrefecimento, que irá resfriar o gás e direcionar até o filtro de mangas para que ele possa ser descartado pelas chaminés. A eficiência da troca térmica em cada estágio é muito importante para garantir que a reação de descarbonatação ocorra de forma eficiente, a seguir a média de valores típicos de temperatura dos estágios do ciclone:

-Farinha de alimentação: 60°

-1° Ciclone: 330°C

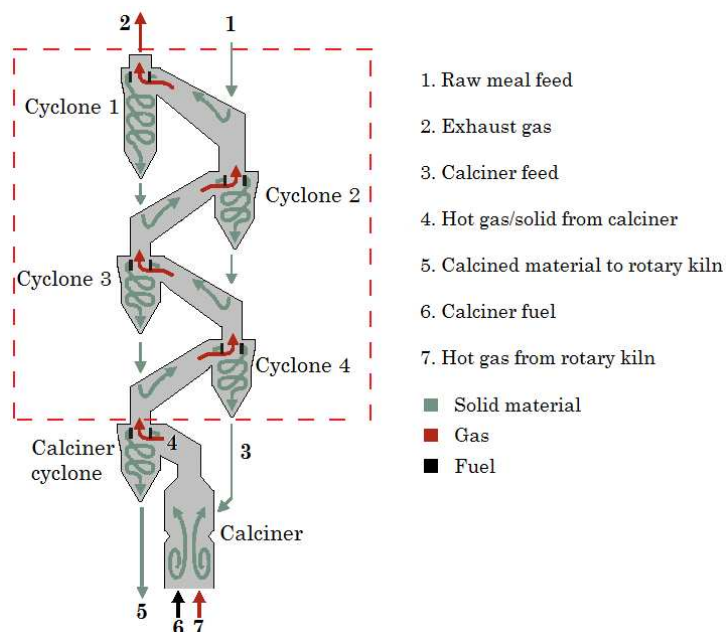
-2° Ciclone: 520°C

-3° Ciclone: 710°C

-4° Ciclone: 790°C

-5° Ciclone: 840°C

Figura 7 - Torre de ciclones com 5 estágios



Fonte: Rasmussen (2012)

4.5.1 Torre de Arrefecimento

A torre de arrefecimento é um equipamento que tem como objetivo resfriar o gás quente oriundo do forno e o pó proveniente da farinha arrastada pelo fluxo de ar das torres de ciclones. Essa torre tem funcionalidade quando o moinho de cru está parado. É inserido água para resfriar o gás através de 4 bicos de injeções (2 manuais e 2 automáticos), a temperatura do gás diminui e o pó é separado, o destino do gás são os filtros de mangas, o resfriamento é necessário para que o gás não queime esses filtros com altas temperaturas e assim possa ser liberado para atmosfera sem emissões de poluentes, o pó tem destino para o silo de retorno de pó, esse material será descartado ou inserido novamente no processo caso atenda os parâmetros de qualidade de farinha. A Figura 8 representa a torre de arrefecimento da Mizu.

Figura 8 - Torre de arrefecimento da Mizu



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.6 Calcinador

O calcinador é o reator do processo, nesta etapa a farinha que sai do ciclone entra neste equipamento para que o processo de descarbonatação se intensifique e a farinha possa ter menos tempo de residência no forno. A principal reação que ocorre nesta etapa pode ser descrita abaixo:



Esta reação, conhecida como descarbonatação, é um processo endotérmico que ocorre em altas temperaturas, geralmente em torno de 850°C, para calcinar aproximadamente 90-95% da farinha produzida. A vantagem deste método é que a farinha já entra no forno com altas temperaturas, o que permite que o forno seja mais curto em comprimento. Se essa etapa não existisse, todo o processo de pré-calcinação teria que ocorrer dentro do forno, exigindo um equipamento com um comprimento maior que o usual.

A calcinação é o processo de maior consumo de energia calórica dentro de um processo via seca, absorve cerca de 60% do combustível total utilizado para esta ação. O calor

é gerado através de maçaricos que são inseridos no calcinador que utilizam como combustível coque de petróleo e materiais coprocessáveis. O calcinador da Mizu juntamente com a torre de ciclones pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Torre de ciclones e Calcinador



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.6.1 Coque de petróleo

O coque de petróleo é um subproduto da indústria petrolífera, gerado durante o processo de destilação do petróleo, caracterizado principalmente por sua composição química, que consiste essencialmente em carbono e enxofre. Na indústria do cimento, ele desempenha um papel crucial como fonte de combustível. Antes de ser empregado no processo, é submetido à moagem em um moinho de bolas, onde a granulometria do combustível é reduzida. Em seguida, passa pelo separador, filtro e por fim o silo de coque, onde ficará armazenado e irá abastecer o calcinador e forno.

4.6.2 Coprocessamento

O coprocessamento se destaca como uma alternativa de combustível no processo industrial, resultando em redução dos custos de produção e na manutenção da eficiência operacional. Essa tecnologia viabiliza o aproveitamento de combustíveis sustentáveis como

fonte de energia, trazendo vantagens tanto para a empresa, por meio da economia gerada, quanto para o meio ambiente, ao dar um novo propósito a materiais que de outra forma seriam descartados (Bernardo, 2009). Na Mizu esse sistema é adotado e praticado efetivamente, para isso é feito um estudo do material residual que será utilizado, o laboratório analisa o PCI (poder calorífico inferior) do produto e verifica se será eficaz na produção. Os materiais mais utilizados pela fábrica são: resíduos de pneu, caroço de açaí, cavaco, resíduo industrial e outros, para serem usados precisam ser triturados e homogeneizados. Através de um balanço de energia é montado uma receita com todos esses compostos na forma de blend, de forma que seu poder calorífico atenda as necessidades.

4.7 Forno Rotativo

O forno rotativo, também conhecido como forno de clinquerização, é o equipamento onde irá ocorrer o principal processo da etapa de produção do cimento, a transformação da farinha em clínquer. É composto por um tubo cilíndrico de aço, revestido internamente com tijolos refratários, projetados para resistir às altas temperaturas do processo. Além disso, o forno possui inclinação e capacidade de rotação para assegurar a movimentação adequada do material ao longo do processo, direcionando-o posteriormente ao resfriador. Na saída do forno se encontra o maçarico principal, que irá fornecer a fonte de calor necessária para a sua operação, tem como combustível principal o coque de petróleo ou óleo diesel. Essa fonte de energia abastece o maçarico através de uma corrente chamada de ar primário, é responsável por injetar ar para que o coque entre no forno e tem função de controlar a chama, alterando o comprimento e largura até resultar em uma boa combustão. No forno existe uma segunda corrente de ar, denominada de ar secundário, proveniente da recuperação dos gases do resfriador, seu objetivo é tornar a chama estável.

A farinha que sai da calcinador, entra no forno para iniciar o processo de clinquerização, a Tabela 4 mostra as principais reações para obter o clínquer e suas respectivas temperaturas média e a Figura 10 exibe essas etapas sintetizadas.

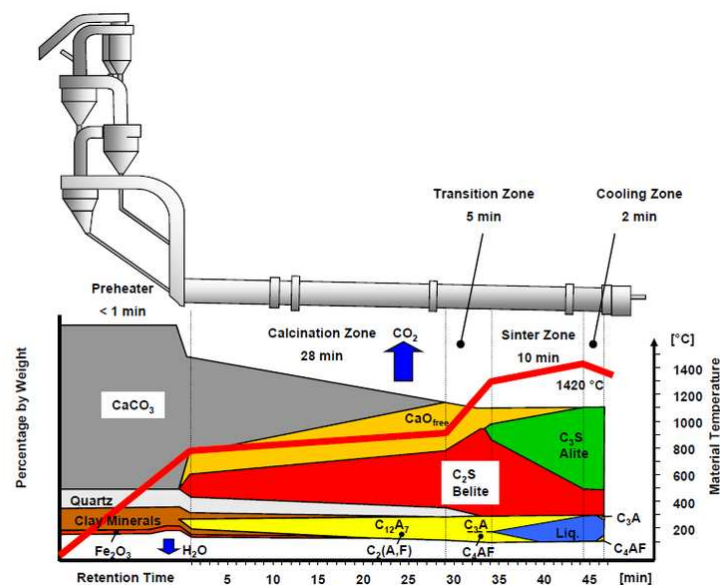
Tabela 4 - Relações e etapas de clinquerização

Etapa da clinquerização	Reações	Temperatura
Secagem da água		< 100 °C

livre		
Eliminação da água absorvida		100 - 400 °C
Decomposição da argila		400 - 750 °C
Formação de óxidos reativos	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$	600 - 900 °C
Decomposição do calcário	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	600 - 1000 °C
Formação do C_2S	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2\text{SiO}_2$	800 - 1200 °C
Formação do C_3A e C_4AF	$3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow (\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ $4\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow (\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	1000 - 1200 °C
Formação do C_3S e aparecimento da fase líquida	$3\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_3\text{SiO}_2$	1200 - 1450 °C
Crescimento dos cristais C_3S		Acima de 1450°C

Fonte: Adaptado de Lima (2013); Coutinho (2002)

Figura 10 - Representação das etapas de clinquerização



Fonte: Hermansson (2020)

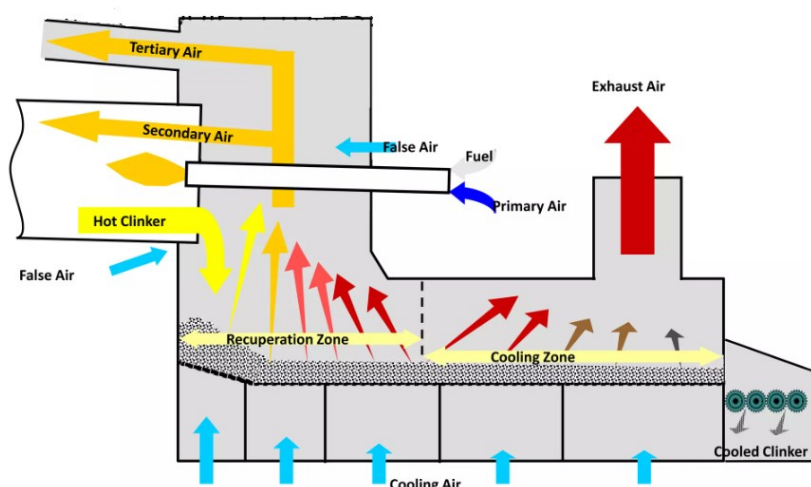
4.8 Resfriador

Após o processo de clinquerização, acontece a etapa de resfriamento, fundamental para assegurar a qualidade, estabilidade e conformidade do clínquer produzido. É crucial que o resfriamento seja rápido e controlado, evitando que as reações alcançadas no forno retrocedam. Resfriamentos rápidos geram formações de cristais mais fáceis de moer, com mais quantidade de alita e maior reatividade, resfriamentos lentos podem causar problemas na estrutura do cimento. As transformações necessárias para formar o cristal C_3S são reversíveis, portanto, um resfriamento inadequado pode resultar na conversão do C_3S de volta para C_2S . O uso de resfriadores na saída do forno também serve para recuperar o calor sensível que o clínquer carrega, esse calor será aproveitado no forno na forma de ar secundário.

O resfriador do tipo grelha é o mais indicado para sistemas dotado de pré-calcinador, a Mizu adota esse equipamento. Neste sistema de resfriamento, o clínquer quente cai da saída do forno sobre uma grelha móvel, o ar de resfriamento é soprado através das aberturas das grelhas, à medida que o clínquer se move, ocorre a transferência de calor entre o ar e o material, reduzindo sua temperatura. Uma parte do ar resfriado é reaproveitado para auxiliar o processo de combustão no forno como ar secundário, outra parte é utilizada no calcinador como ar terciário para ajudar na queima da farinha, por fim o ar de excesso que é usado para secar o coque em sua moagem e ser inserido no trocador de calor para reduzir a temperatura dos gases que terão como destino o filtro de mangas, a Figura 11 demonstra essas correntes.

No final do resfriador existe um britador de rolos que irá reduzir o tamanho dessas partículas para moagem do cimento, ao sair desta etapa o clínquer terá temperatura entre 60 a 80°C, depois será transportado em caçambas até o silo de clínquer, este material armazenado pode ser vendido ou utilizado para continuar o processo de produção do cimento.

Figura 11 - Correntes de ar geradas pelo resfriador



Fonte: Cement Equipment (2019)

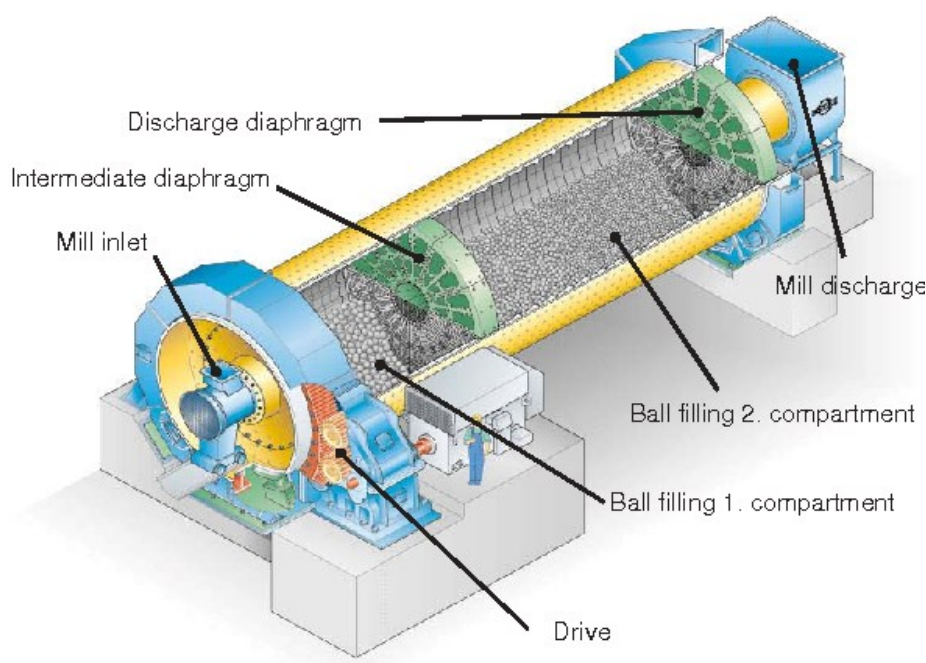
4.9 Moagem de Cimento

O clínquer produzido, juntamente com os materiais adicionais, alimentam o moinho de bolas. Este equipamento desempenha um papel essencial ao reduzir a granulometria desses materiais e garantir a homogeneização dos compostos. Os materiais adicionais (gesso, escória, pozolana etc.) são armazenados em silos individuais, tal como o clínquer. Eles são introduzidos no moinho por meio de balanças dosadoras, permitindo um controle preciso da quantidade adicionada ao processo e monitorando a receita para determinar o tipo específico de cimento a ser produzido.

O moinho de bolas é composto por duas câmaras, que operam de forma diferente como demonstrado na Figura 12. A primeira câmara tem como propriedade ser uma câmara de impacto, tem objetivo de reduzir o material alimentado de uma granulometria grande para um particulado fino. A segunda câmara recebe o material moído da etapa anterior e ajusta a sua finura. A operação deste equipamento ocorre através de corpos moedores presente em cada câmara com diferentes tamanhos, o corpo moedor da primeira câmara é maior do que a segunda. A operação do moinho ocorre sob constantes rotações para que a mistura possa ocorrer efetivamente, a separação do material pelas câmaras ocorre pelo diafragma, este equipamento identifica se o material moído pode passar para a próxima etapa de moagem ou se deve continuar na primeira fase da operação.

Todo material que sai do moinho precisa passar pelo separador, este equipamento irá classificar o material que passou pelo processo de moagem, definindo se a especificação desejada foi obtida ou não, caso o material moído não possua as características adequadas, irá retornar para o processo e refazer o procedimento. É neste processo que a finura do cimento é estabelecida, este parâmetro é muito importante para o desempenho e propriedades do produto. Depois que o cimento passa por esta etapa, seu destino é o filtro para separar os gases das partículas e por fim é levado até o silo de cimento.

Figura 12 - Interior do moinho de bolas



Fonte: Prasath *et.al* (2010)

4.10 Ensaque e Expedição

A última etapa do processo de fabricação do cimento é o ensacamento e a expedição do produto gerado. O procedimento será destinar esse produto a ensacadeira ou depositar o material a granel. Na Mizu o destino do cimento pode ser para silo multicâmaras com capacidade de 17 mil toneladas ou para o silo metálico que possui 2 mil toneladas. Depois que o material é armazenado, o cimento pode ser ensacado, quem realiza esta operação é a ensacadeira. Na fábrica todo o processo de ensaque do cimento é automatizado, a ensacadeira atua com 14 bicos de injeção do material, é abastecida à medida que o saco é inserido na máquina. O equipamento possui uma balança para verificar o peso do cimento, caso a massa não atinja o set point, o material é descartado e a máquina reajusta o valor para os próximos

sacos não saírem com erro. Depois que o cimento é ensacado, irá para paletizadora, onde será empilhado em pallets, cada lote possuindo 40 sacos. Outra forma de expedir o material é a granel, onde os caminhões, conhecidos como cebolão, recebem esse material pela tromba que fica logo abaixo do silo de cimento.

5 ATIVIDADES REALIZADAS NO ESTÁGIO

Foram realizadas 300 horas de estágio na fábrica de cimento Mizu, abrangendo os setores de mineração, qualidade e processos. O setor de processos teve mais dedicação com mais atividades realizadas, nesta área o engenheiro químico pode desenvolver competências e habilidades adquiridas durante a formação. A seguir serão detalhadas as tarefas mais realizadas durante o programa de estágio.

5.1 Inspeção nos silos CFI

Toda semana a equipe de processos tem como objetivo vistoriar a funcionalidade dos equipamentos dos silos de armazenamento de farinha crua. É realizada uma vistoria das regueiras de extração, identificando se há algum vazamento de material, se a homogeneização está ocorrendo de forma eficiente, verifica se as válvulas de ar estão funcionando, analisa se existe alguma obstrução nos sopradores do silo. Verificado algum tipo de anomalia é feito um relatório com os problemas que será enviado para a equipe mecânica para resolver as pendências geradas.

5.2 Inspeção na torre de arrefecimento

As torres de arrefecimento são inspecionadas semanalmente afim de garantir a sua boa eficiência durante o processo. É verificado os 4 bicos de injeção de água, se a lâmina de água está sendo formada e sendo distribuída uniformemente, é examinado se algum equipamento precisa ser trocado ou limpo.

5.3 Inspeção nos filtros

Todos os equipamentos que transportam material precisam passar por filtros, como a empresa possui uma política de não emissão de particulados para a atmosfera a inspeção de todos os filtros precisa ser feito constantemente. Para saber se um filtro precisa ser trocado é

possível ver visualmente se algum material está saindo para fora do equipamento, também é possível identificar caso a pressão diferencial tenha um aumento significativo. Identificados os problemas no filtro, a equipe de processos verifica todas as mangas das câmaras e solicita a troca caso esteja obstruída.

5.4 Determinação de ar falso

Ar falso é definido como o ar que não é desejado no sistema, ele pode entrar através de brechas de tubulações ou dos equipamentos. Esta variável não possui controle, o seu excesso ocasiona diversos problemas, principalmente na eficiência da performance das máquinas. A determinação é feita através da análise de composição de ar, utilizando uma sonda que faz a leitura dos gases, é feito na entrada e saída do equipamento e compara a quantidade de oxigênio, o valor gerado é colocado em uma planilha que define os limites da quantidade de ar falso presente no sistema.

5.5 Momento de chama

A chama tem como objetivo produzir energia suficiente para que o material dentro do forno possa ser transformado. Para a obtenção dessa variável coletam-se dados de temperatura, pressão estática e pressão dinâmica nas tubulações de ar axial, ar radial, ar central e ar total medidos no forno. Com os dados obtidos, calcula-se o momento de chama, caso o resultado esteja fora de faixa, é feito ajustes no ar primário.

5.6 Medição de vazão de ar e gases

A medição de vazão de ar é feita utilizando um tubo de Pitot, este dispositivo é usado para medir a velocidade do fluido em tubulações. Com este equipamento obtém as variáveis de pressão dinâmica e estática, também é medido a temperatura e com isso é possível aplicar a equação de Bernoulli para descobrir a velocidade dos gases no ponto de medição, por fim encontra-se a vazão. Esta medição serve para informar a relação de ar e material que está saindo.

5.7 Verificação de temperatura

A temperatura é uma das principais variáveis que precisa ser controlada. O painel de controle da fábrica possui comando nessa propriedade, porém quando ocorre alguma instabilidade, a equipe de processos é responsável por averiguar em campo se os dados se assemelham com o do painel. Esta ação é importante para que não ocorra má interpretação da funcionabilidade dos equipamentos de processo, e se houver instabilidade na leitura, é preciso notificar para que seja corrigido.

5.8 Avaliação de carga no moinho de bolas

Para uma boa performance no moinho de bolas é preciso averiguar se os corpos moedores estão em boas qualidades. A operação de um moinho cheio ocasiona problemas como derramamento de material e redução na eficiência da moagem, operar moinho vazio causa desgastes nos corpos moedores e nas paredes do equipamento, portanto é importante manter um equilíbrio nesta operação. A equipe de processos realiza inspeção dentro do moinho de bolas, verificando se há necessidade de trocar as cargas moedoras e calculando o grau de enchimento de carga do equipamento.

5.9 Determinação do ponto de orvalho

É importante determinar o ponto de orvalho nos equipamentos que posteriormente passam por filtros. Esse controle é necessário para evitar a condensação de água nos filtros de mangas, evitando desgastes indevidos. A determinação é feita com a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, depois da análise é plotado um gráfico através das cartas psicométricas analisando se o sistema apresenta condensação.

5.10 Preenchimento das variáveis diárias de processos

O setor de processos possui diversas atividades, uma delas é estar sempre atualizando planilhas com os dados obtidos diariamente de todos os equipamentos da produção. Esse registro reúne diversas informações sobre todos os equipamentos da fábrica, tais como produtividade, temperatura, pressão, corrente elétrica dos motores, diferencial de pressão e outras. Isso permite um controle dos equipamentos e possa ser rastreado facilmente qualquer

identificação de anomalia no sistema produtivo. A alimentação de dados dessa planilha é uma tarefa diária, essencial para consolidar os dados ao final do mês e preencher o “farol de processos”, outra planilha com informações mensais que serão apresentadas aos líderes da fábrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo produtivo para fabricação do cimento Portland envolve várias etapas, para manter a eficiência do produto é preciso implementar rigorosos controles de qualidade, para isso precisa de uma equipe em constante qualificação. Neste trabalho foi possível descrever cada etapa realizada para obtenção do produto, detalhando também as práticas adotadas para o bom funcionamento dos equipamentos e cuidado que se deve manter com o meio ambiente. A metodologia utilizada reuniu a experiência prática com trabalhos científicos encontrados na literatura, essa combinação enriqueceu o trabalho e facilitou a compreensão dos tópicos descritos.

Em conclusão, o estágio obrigatório realizado na fábrica de cimento Mizu localizada em Baraúna-RN, representou uma etapa essencial na formação acadêmica e profissional. Esse período trouxe conhecimentos e oportunidades com o primeiro contato de atuação de um engenheiro químico em uma grande empresa. A prática realizada foi útil para o desenvolvimento de habilidades antes desconhecidas, foi possível aprender toda a cadeia produtiva da indústria cimenteira e colocar em prática muito mais que os conhecimentos adquiridos durante a graduação. Ter contato com profissionais experientes que atuam há muito tempo no ramo, impactou positivamente a jornada do estágio, os integrantes foram fundamentais para o constante aprendizado, as orientações recebidas foram além de toda a base acadêmica. Na prática foi vivenciado que qualquer pessoa da empresa possui disponibilidade para compartilhar conhecimento, essa visão foi importante para moldar o tipo de profissional que um estagiário sem experiências no mercado precisa obter. Além disso foi visto que a Mizu Cimentos é uma empresa que demonstra compromisso com valores éticos e responsabilidade social, priorizando os seus integrantes e contribuindo positivamente para a sociedade, essas atribuições é o que torna essa marca estar em ascensão por todo país.

REFERÊNCIAS

- ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 2002. Disponível em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/>. Acesso em: 13 set. 2023.
- ABCP. **Uma breve história do cimento Portland**. 2019. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. 1 ed. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9831**: Cimento Portland para poços petrolíferos – Requisitos e métodos de ensaio. 3 ed. Rio de Janeiro, 2020.
- BERNARDO, Ana Carla de Souza Masselli. **Otimização Estocástica Multi-objetivos na Produção de Cimento Portland com CoProcessamento de Resíduos e Adição de Mineralizadores**. 2009. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1526>. Acesso em: 22 set. 2023.
- BOGUE, R.H. 1947. **The chemistry of Portland cement**. New York: Reinhold Publishing, 572 p.
- BRANCÃO, Luiz Otávio. **Produção de Clínquer**. Maceió: Blog do Cimento, 2020. 78 p.
- CÁCERES, Alberto Eulogio Arias. **Caracterização da matéria-prima (Grupo Itapucumí) e sua queimabilidade para a produção de cimento Portland na Indústria Nacional del Cemento (Paraguai)**. 2018. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Usp, São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-25042018-161847/publico/Dissertacao_Alberto_E_Arias_C.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.
- CASTRO, João Paulo Oliveira. **Desenvolvimento de cimento Portland pozolânico em laboratório, utilizando escória ácida como material pozolânico**. 2016. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, UNIFOR, Formiga, 2016. Disponível em: https://repositorioinstitucional.unifor.br/21074/xmlui/handle/123456789/481?locale-attribute=pt_BR. Acesso em: 13 set. 2023.
- Cement Equipment. **3 golden rules for clinker**. 2019. Disponível em: <https://www.cementequipment.org/main-category/clinker-cooler/3-golden-rules-for-clinker-cooler/>. Acesso em: 23 set. 2023.
- CEMENT, Zqg. **Gebr. Pfeiffer to supply the world's largest vertical roller mill for cement**. 2011. Disponível em: https://www.zkg.de/en/artikel/zkg_2011-11_Gebr._Pfeiffer_to_supply_the_world_s_largest_vertical_roller_mill_for-1288322. Acesso em: 20 set. 2023.

CENTURIONE, Sérgio Luiz. **A mineralização do clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos**. 1999. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-19112015-085440/publico/Centurione_Doutorado.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

CHRISTÓFOLLI, Jorge Luiz. **Estudo de argilas calcinadas para produção de cimento Portland pozolânico na região de Curitiba, Paraná - Brasil**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/24061>. Acesso em: 08 set. 2023.

COUTINHO, Joana de Sousa. **Cimentos**. 2002. Disponível em: https://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/cienciadosmateriais/apontamentos/teorica_20022003/JSC_044a064.pdf. Acesso em: 16 jul. 2023.

FANTE, Munique. **Comportamento de misturas compostas com fileres carbonáticos frente à carbonatação**. 2020. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UNISINOS, São Leopoldo, 2020. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9261/Munique%20Fante_.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 set. 2023.

FLSMIDTH. **Stacker and reclaimer systems for cement plants**. 2013. Disponível em: <https://www.flsmidth.com/-/media/brochures/brochures-products/material-handling/stacker-and-reclaimer-systems-for-cement-plants>. Acesso em: 19 set. 2023.

HERMANSSON, Anton. **Standardization and optimization of index for 28 day strength for cement made from standard clinker**. 2020.

IDEMA. **Perfil do seu município**. 2010. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000016654.PDF>. Acesso em: 16 set. 2023.

ITAÚ, Cimento. **Mineração**. 2011. 336 p.

KIHARA, Yushiro. **Estudo mineralógico de clínquer de cimento Portland**. 1973. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-02092013-095244/publico/Kihara_mestrado.pdf. Acesso em: 09 set. 2023.

LACERDA, Max Lânio. **Estudo da argila pozolânica utilizada a produção de cimento: área bonussucesso - região de planaltina - df**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2005. Disponível em: https://mw.eco.br/ig/posg/mest/Mest200/mest_200.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

LIMA, André Barbosa. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9C6HHC/1/monografia_processo_produtivo_cimento_portland.pdf. Acesso em: 06 set. 2023.

LIMA, Rondinelli Nepomuceno. **Avaliação da incorporação de enxofre no clínquer em um forno de cimento**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Ufmg, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ACHME/1/disserta__o__rondinelli_nepomuceno_lima.pdf. Acesso em: 21 set. 2023.

MARTINS, Natália Pires. **Microestrutura e propriedades mecânicas de argamassas contendo escória de alto forno in natura**. 2016. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/microestrutura-e-propriedades-mecanicas-de-argamassas-contendo-escoria-de-alto-forno-in-natura.pdf. Acesso em: 09 set. 2023.

MIZU. **A Mizu Cimentos**. 2020. Disponível em: <https://mizu.com.br/sobre/>. Acesso em: 04 set. 2023.

NEVES, Marcelle de Souza. **Aproveitamento da escória de aciaria nas indústrias**. 2018. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.uezo.rj.gov.br/tcc/tpm/Marcelle-de-Souza-Neves.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

OLIVEIRA, Danielle Nascimento Silva. **Produção de cimento para poço de petróleo a partir de cimento Portland comerciais**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2616>. Acesso em: 14 set. 2023.

OLIVEIRA, Gabriel Augusto Rodrigues Nunes. **Critério de projeto para moinhos de cimento Portland**. 2012. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.ambientesquimicos.eq.ufrj.br/Nosso_ambito_3_files/2012GARNO-AZDPI-EQ-UFRJ-CriteriosdeProjetoparaMoinhosdeCimentoPortland.pdf. Acesso em: 09 set. 2023.

PAULA, F. de. **Apostila de microscopia do clínquer**. Laboratório de controle químico e qualidade, Lafarge, Cantagalo – RJ, 2010.

POLISSENI, Antônio Eduardo. **Estudo da viabilidade técnica da utilização da escória de aciaria elétrica micronizada como material cimentício**. 2005. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4497/000501823.pdf;sequence=1>. Acesso em: 10 set. 2023.

PRASATH, Guru *et al.* Application of Soft Constrained MPC to a Cement Mill Circuit. **Ifac Proceedings Volumes**, [S.L.], v. 43, n. 5, p. 302-307, 2010. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Application-of-Soft-Constrained-MPC-to-a-Cement-Prasath-Recke/82dc07c65489fa9fd0ec9239bc676f10188c5dc7>. Acesso em: 23 set. 2023.

RASMUSSEN, Martin Hagsted. **Low SO₂ Emission Preheaters for Cement Production**. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265741089_Low_SO_2_Emission_Preheaters_for_Cement_Production. Acesso em: 21 set. 2023.

ROMANO, Cezar Augusto. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>. Acesso em: 08 set. 2023.

Sanghavi Group. **Inverted Cone Blending Silo**. 2017. Disponível em: <http://www.sanghavigroup.com/inverted-cone-blending-silo/>. Acesso em: 20 set. 2023.

SANTOS, Leandro Bruno. A indústria de cimentos no brasil: origens, consolidação e internacionalização. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Mg, v. 23, n. 1, p. 77-94, 06 abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-45132011000100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/nnypgjBHkWHg9Vt53YMJWLj/#>. Acesso em: 16 jul. 2023.

SHAH, K. P.. **Construction, Working and Maintenance of Crushers for Crushing Bulk Materials**. 2018. Disponível em: <https://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Construction-Working-and-Maintenance-of-Crushers-for-Crushing-Bulk-Materials.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

SILVA, Hudson Tiago Lima da. Reflexões geográficas sobre a produção de cimento em Baraúna (RN): uma abordagem acerca dos seus fluxos comerciais. **Pensar Geografia**, Mossoró, v. 1, n. 1, p. 1-21, 2017. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/PGEO/article/view/726>. Acesso em: 15 set. 2023.

SIMÕES, Bruna Beck. **Avaliação do Resíduo de Dessulfurização da Termelétrica de Candiota/RS como Material Suplementar no Cimento Portland**. 2022. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/20291/1/BBSim%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 08 set. 2023.

SNIC. **SNIC 50 anos**. 2017. Disponível em: http://snic.org.br/assets/doc/historia_do_cimento_no_brasil.pdf. Acesso em: 01 set. 2023.

TAYLOR, H.F.W. **Cement chemistry**. 2. ed: Thomas Telford, 1997. 469 p.

TRINTA, Regina Paula Baldez. **Caracterização do clínquer e comportamento físico-mecânico do cimento**. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Puc, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/48164/48164.PDF>. Acesso em: 09 set. 2023.

ZAMPIERI, Valdir Aparecido. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. 1989. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mineralogia e Petrologia, USP, São Paulo, 1989. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-15092015-145928/pt-br.php>. Acesso em: 08 set. 2023.