



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS – CE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA – DET
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

LAÍS TAMIRES OLIVEIRA MORAIS

**ANALISE DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND NA
COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI EM QUIXERÉ-CE**

MOSSORÓ/RN

2024

LAÍS TAMIRES OLIVEIRA MORAIS

**ANALISE DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND NA
COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI EM QUIXERÉ-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, campus de Mossoró, com o objetivo de
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

MOSSORÓ/RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

OM828 Oliveira , Laís Tamires.
a ANALISE DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO
PORTLAND NA COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI
EM QUIXERÉ-CE / Laís Tamires Oliveira . - 2024.
44 f. : il.

Orientador: Geraldine Angélica Silva da Nóbrega.
Coorientador: Manoel Reginaldo Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2024.

1. Clinquerização. 2. Cristais. 3. Moagem. 4.
Cimento. I. Nóbrega, Geraldine Angélica Silva da,
orient. II. Fernandes, Manoel Reginaldo, co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
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.

LAÍS TAMIRES OLIVEIRA MORAIS

**ANALISE DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND NA
COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI EM QUIXERÉ-CE**

Relatório de estágio supervisionado apresentado
na Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, campus de Mossoró, com o objetivo de
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

DATA DE APROVAÇÃO: 12 / 03/ 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GERALDINE ANGELICA SILVA DA NOBREGA
Data: 17/04/2024 11:44:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra.Geraldine Angélica Silva da Nóbrega- UFERSA - Presidente



Documento assinado digitalmente
MANOEL REGINALDO FERNANDES
Data: 17/04/2024 19:46:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes – UFERSA - Primeiro Membro



Documento assinado digitalmente
ALRIVAN GOMES DO REGO JUNIOR
Data: 17/04/2024 12:46:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Msc. Alrivan Gomes do Rêgo Júnior - Segundo Membro

Aos meus familiares, que diante de todas as dificuldades sempre me deram suporte para que eu conseguisse realizar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, minha mãe Francisca Luisa Lima Oliveira Moraes, a minha irmã Ana Taymara Oliveira morais, a minha namorada Linda Lene Sousa Costa por serem os pilares que me deram o suporte durante essa jornada que não é fácil de ser seguida, aturando meus piores estado de espírito, com paciência, cuidado e muito amor, amo vocês.

Aos meus colegas de trabalho Francisco Robson dos Santos por todo apoio e coleguismo sendo fundamental na minha jornada e desenvolvimento profissional, como também sendo meu suporte no trabalho na minha ausência, a meu amigo e colega de trabalho Luan Allef de Sousa pelas trocas, carinho e cuidado tornando os meus dias mais alegres. A Companhia Industrial de Cimento Apodi, na figura dos gerentes que passaram Fábio Martins Azevedo, Marco Aurélio Silva e ao que está hoje Ângelo Giuseppe Duran por me permitirem aprimorar os conhecimentos adquiridos na unidade insdutrial, assim como também disponibilizarem o meu tempo como profissional para me desenvolver aquirindo conhecimento dentro da universidade.

A minha orientadora Geraldine Nóbrega por me direcionar nesse trabalho final e durante todo o aprendizado nas disciplinas ministradas, tendo o cuidado e preocupação para que nos tornemos não só profissionais exelentes, mas acima de tudo pessoas exelentes, isso não é dito é praticado por ela e sou muito grata por perceber a essência que nos ensina com gestos. Obrigada também aos membros da banca Manoel Reginaldo Fermamdes e Alrivan Gomes do Rego Júnior por disponibilizarem o seu tempo para me ouvirem e contribuírem com suas observações. Aos meu colegas de sala de aula Nadson Naelyson Alves de Holanda, Maria Helena Lima da Silva, Cintya Luana de Oliveira Moura e Livia Christina de Araújo Silva, por sempre me apoiarem nos momentos difíceis dos estudos, sem dúvidas que vocês me fizeram parte de um grupo e os dias de estudos foram mais leves com vocês.

Enfim, obrigada a todos os outros não citados, mas que de alguma forma estava sempre torcendo por mim.

“Sonhos determinam o que você quer, ação
determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

O processo de produção do cimento inicia-se na extração do calcário da mina, após sua extração a matéria-prima passa por um processo de cominuição onde será homogeneizado e estocado em galpões, essas atividades usam vários equipamentos como empilhadores e retomadoras. Após esse procedimento o mesmo é transportado para um silo através de correias transportadoras onde será dosado juntamente com outras matérias-primas como argilas ricas em sílica e ferro que serão cominuídas utilizando um moinho vertical para obter a farinha, material muito fino que sofrerá descarbonatação ao ser submetida a temperaturas específicas ao longo de uma torre de ciclones. Ao passar pela torre de ciclones esse material entra no forno onde ocorrerá as reações químicas necessárias para a obtenção do clínquer, material base para a produção de cimento responsável por agregar resistência ao mesmo. Ao sair do forno o clínquer passa por um resfriador, equipamento responsável pelo resfriamento do mesmo. O clínquer é estocado em um silo onde posteriormente será dosado juntamente com outros materiais como, calcário, gesso, escória para serem cominuídos em moinhos verticais varridos a ar obtendo-se assim o cimento Portland que será estocado em um silo multicâmara. O cimento pode ser estocado de diversas formas para sua comercialização sendo elas o ensacado na qual a extração de cimento se dá através de máquinas ensacadeiras onde colocam o cimento em sacos para serem empilhados em paletes ou carregados diretamente no caminhão; carregamento a granel, o cimento é colocado diretamente em caminhões cebolões e em big bags sacolas grandes com capacidade de 1ton. Todo o sistema produtivo é acompanhado por várias análises durante as etapas do processo, o setor de controle qualidade é o responsável por nortear as ações no processo produtivo a fim de garantir a qualidade do produto.

Na fábrica acompanhei as etapas de produção desde a fabricação da farinha para a produção de cl

PALAVRAS-CHAVE: Cimento Portland, extração, cominuição, descarbonatação

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores dos componentes nos principais tipos de CP do mercado brasileiro	17
Tabela 2 - Principais reações no processo de clinquerização	31
Tabela 3 - Principais compostos do clínquer	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nomeclatura dos cimentos	16
Figura 2 – CP I (Cimento Portland comum)	17
Figura 3 – CP II E (Cimento Portland composto com escória de alto-forno)	18
Figura 4 – CP II F (Cimento Portland composto com fíler)	18
Figura 5 – CP II Z (Cimento Portland composto com pozolana)	19
Figura 6 – Fábrica de cimento Apodi em Quixeré – CE	20
Figura 7 – Fluxograma de uma planta de fabricação de cimento	21
Figura 8 – Britador de calcário	22
Figura 9 – Desenho esquemático de um britador de impacto	22
Figura 10 – Empilhamento de argical de forma longitudinal	23
Figura 11 – Pilha de argical usando o método Chevron na fábrica	23
Figura 12 – Desenho esquemático da retomadora de argical	24
Figura 13 – Retomadora de argical na Cimento Apodi	24
Figura 14 – Processo de empilhar e retomar	24
Figura 15 – Moinho vertical	26
Figura 16 – Silo de homogeinização de farinha	27
Figura 17 – Circuito da moagem de farinha na Cimento Apodi	27
Figura 18 – Torre de ciclones da fábrica	29
Figura 19 – Setor de clínquerização	29
Figura 20 – Resfriador de clínquer	30
Figura 21 – Silo de clínquer	31
Figura 22 – Reações químicas dentro de um forno de clínquer	32
Figura 23 – Forno de clínquer na Companhia Industrial de Cimento Apodi	32
Figura 24 – Correntes de ar quente geradas pelo resfriador de clínquer	33
Figura 25 – Moinho de bolas	35
Figura 26 – Moinho de bola internamente	35
Figura 27 – Galpão de materiais que são coprocessados	36
Figura 28 – Materiais utilizados no coprocessamento	36
Figura 29 – Moagem de cimento	37
Figura 30 – Ensacadeira e carregamento á granel	38
Figura 31 – Caricamat	38
Figura 32 – Sistema de gestão da rotina de processos	39

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRAFICA.....	Error! Bookmark not defined.
RESUMO	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE FIGURAS	11
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Cimento Portland	16
3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO NA COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI.....	20
3.1 Extração do calcário e preparação das matérias-primas	22
3.2 Moagem de cru	25
3.3 Produção de clínquer	29
3.4 Moagem de combustível.....	35
3.5 Coprocessamento de resíduos industriais	37
3.6 Moagem do cimento	38

3.7 Ensacadeira e Expedição	38
4 O SETOR DE PROCESSOS	40
6 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

O cimento é um material fundamental para a construção civil, pois o mesmo é o produto base para a composição do concreto. Atualmente, o Brasil é o 8º maior produtor de cimento do mundo e 7º maior consumidor, possuindo 80 municípios em 23 estados brasileiros com fábricas de cimento com parque produtor composto por 91 fábricas controladas por 23 grupos industriais com capacidade de 94 milhões ton/ano de cimento, (SNIC, 2022).

A Companhia Industrial de Cimento Apodi é uma joint venture multinacional tem como sócio a família Dias Branco e o grupo Titan. Foi idealizada em 2008 pelo grupo M. Dias Branco e entrou no mercado em 2011 com a fábrica de Pecém/CE, dois anos depois em 2013 inaugurou sua segunda fábrica em Quixeré/CE (www.cimentoapodi.com.br/nossa-historia/). A fábrica em Pecém é composta por uma moagem e ensacado, já a fábrica em Quixeré é uma unidade completa onde há o processo de extração do calcário (mineração), homogeneização das matérias-primas e estocagem (silo), cominuição do material (moagem), calcinação (torre de ciclones/forno), obtendo o clínquer, produto base para a fabricação do cimento, após a obtenção do clínquer realiza-se um mix de materiais que são cominuídos obtendo assim o cimento. A fábrica localizada em Pecém tem capacidade de expedição de 1500 ton/dia e a fábrica localizada em Quixeré possui a capacidade de expedição de 4500 ton/dia (CIMENTO APODI, 2017).

Atualmente a indústria de cimento é responsável por cerca de 10% das emissões totais de CO₂ podendo atingir 30% em 2050 (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). No processo de clínquerização a queima de combustíveis fósseis é o método mais utilizado para fornecer energia, representando de 40 a 50% das emissões geradas pelo setor, além disso o calcário se decompõe após o aquecimento gerando óxido de cálcio e CO₂ representando de 50 a 60% do restante das emissões (VAN DEN HEEDÉ; DE BELIE, 2012).

A produção de cimento correnponde de 5 a 7% das emissões globais de CO₂ (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005). Diante desses dados um dos grande dessfios desse tipo de indústria é reduzir a emissão de CO₂, dentre as estratégias buscadas está a otimização do sistema produtivo, utilizar os combustíveis alternativos, aumentar a substituição do clíquer nas composições do cimento. Todas essas estratégias são necessárias para atingir a meta de redução de 65% de das emissões de CO₂ para 2050 (IEA, WBCSD, 2009a).

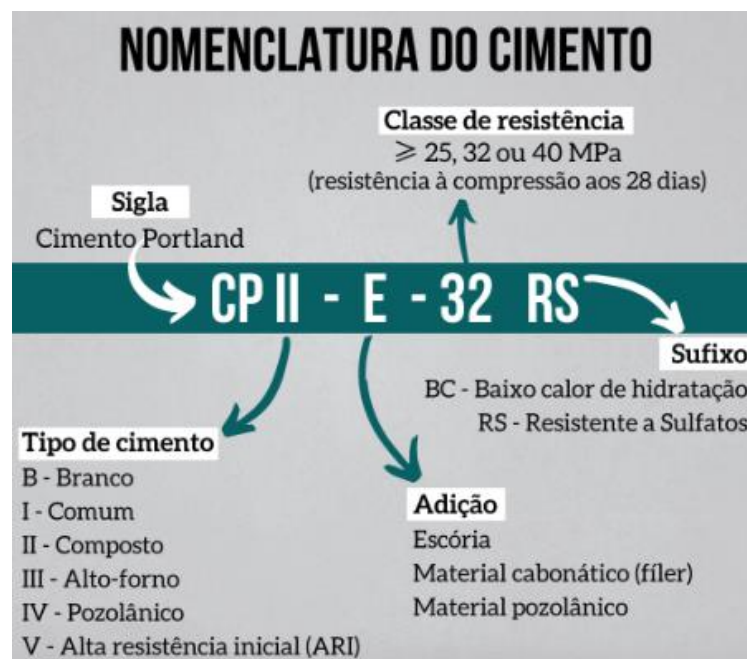
A produção de cimento é dividida por departamentos para que haja controle do processo produtivo, buscando otimizar a produção e diminuir as perdas. Normalmente, os departamentos são divididos em: mineração, produção da farinha, clínquerização que possui subdepartamentos como coprocessamento e moagem de combustível, britagem secundária, moagem de cimento, extração e ensacado de cimento. Assim como há a subdivisão por departamentos, toda a gestão também é dividida por setores para que seja possível dar continuidade e manter as pessoas e o

2.1 Cimento Portland

Para a fabricação do cimento pode-se utilizar tanto minerais de origem natural como produtos industriais. Os materiais servem como fornecedores dos minerais que são os principais componentes do cimento, sendo eles: cal, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses componentes, raramente, são encontrados nas proporções desejadas, por tanto na maioria das vezes se faz necessário uma mistura de componentes (Duda, 1977).

O cimento é constituído praticamente de clínquer (material sinterizado resultante da calcinação de uma mistura de calcário e argilas) e gesso, mas existem vários tipos de cimento que podem atender o mercado de acordo com o tipo de aplicação. A identificação dos Cimentos é feita através das siglas seguidas de suas clases de resistências conforme figura 1. Nomeia-se Cimento Portland de CP.

Figura 1: Nomeclatura dos cimentos.



Fonte: Grupoamaro.com.br.

Existem vários tipos cimentos que estão relacionados com o tipo de material utilizado para sua obtenção, cada tipo tem uma aplicabilidade específica proveniente das quantidades e tipos de materiais utilizados. A Tabela 1 mostra os diferentes tipos de cimento existentes assim como a porcentagem de suas composições.

Tabela 1 - Teores dos componentes nos principais tipos de CP do mercado brasileiro.

Componentes (% em massa)				
Sigla	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
CP I	100	-	-	-
CP II-E	94-56	6-34	-	0-10
CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10
CP II-F	94-90	-	-	6-10
CP III	65-25	35-70	-	0-5
CP IV	85-45	-	15-50	0-5
CP V- ARI	100-95	-	-	0-5

Fonte: ABNT (1991-1992).

2.1.1 CP I - Cimento Portland comum

O CP I é o cimento Portland comum, pois possui apenas a adição do gesso. A figura 2 mostra os tipos de materiais utilizados. O gesso tem a função de retardar o início de pega do cimento para possibilitar maior tempo de trabalhabilidade. É adequado para o uso em construções de concreto em geral. Também é oferecido ao mercado o cimento Portland comum com adições (CP I-S), que possui 1 % a 5 % de material pozolânico em massa, apresentando menor permeabilidade devido à adição de pozolana (NBR 5732, 1991). O CP I tem alto custo e menor resistência, sua classe de resistência é de 25 Mpa (ABCP).

Figura 2: CP I (Cimento Portland comum)



Fonte: ABCP.

2.1.1.1 CP II-E - Cimento Portland composto com escória de alto-forno

A escória de alto-forno é um produto secundário da indústria siderúrgica, normalmente mais de 95% da sua composição é composto por sílica, cálcio, alumínio, magnésio e oxigênio (OZBAY; ERDEMYR; DURMUS, 2016). A composição da escória de alto-forno pode ser alterada de acordo com as impurezas e tipo de combustível utilizado (COSTA; CHOQUE FERNANDES; SOUZA, 2019).

O CP II-E contém adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação (figura 3) contém os materiais utilizados para a produção do CP II E. O

CP II-E é composto de 94% a 56% de cliquer mais gesso e de 6 % a 34 % de escória na sua composição. Além da adição de escória de alto-forno, pode-se ter adição de material carbonático no limite máximo de 10 % em massa. Este cimento apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos (NBR 11578,1991).

Figura 3 - CP II E (Cimento Portland composto com escória de alto-forno)



Fonte: ABCP.

2.1.1.2 CP II F - Cimento Portland composto com fíler

O CP II-F é composto de 90 % a 94 % de clínquer mais gesso com adição de 6 a 10 % de material carbonático (fíler) em massa (NBR 11578, 1991). Esse tipo de cimento é ideal para utilização em estruturas de concreto armado, pavimento de concreto, assentamento de blocos, revestimento, argamassa de chapisco entre outros. A figura 4 mostra os compostos do CP II F.

Figura 4: CP II F (Cimento Portland composto com fíler)



Fonte: ABCP

2.1.1.3 CP II - Z - Cimento Portland composto com pozolana

Materiais pozolônicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que possuem pouca atividade cimentante, mas quando finamente divididos e na presença de umidade reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, para formar composto com propriedades aglomerantes (NBR 12653/12). O CP II-Z contém adição de pozolana no teor que varia de 6 % a 14 % em massa, o que confere ao cimento maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto produzido. A figura 5 mostra os materiais que compõem o mesmo. É empregado em obras civis em geral e ideal para obras subterrâneas, marítimas e industriais. O cimento CP II-Z também pode conter adição de material carbonático no limite máximo de 10 % em massa, sua classe de resistência é de 25, 32 e 40 Mpa (NBR 5736, 1991).

Figura 5: CP II Z (Cimento Portland composto com pozzolana)



Fonte: ABCP

2.1.1.4 CP III - Cimento Portland de alto-forno

A composição do cimento Portland do tipo CP III é, em massa, de 65 % a 25 % de clínquer e gesso, 35 % a 75 % de escória granulada e alto-forno e 0 % a 5 % de material carbonático (NBR 5735, 1991). Esse tipo de cimento apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência a expansão (devido a relação alcali-agregado) e a sulfatos. Ele pode ser usado em obras de grande porte como barragens, sistema de esgoto, pistas de aeroportos, quanto na aplicação de argamassa de assentamento, estruturas de concreto armado.

2.1.1.5 CP IV - Cimento Portland pozolânico

O CP IV tem sua composição de 15 a 50 % de material pozolânico apresenta maior impermeabilidade, durabilidade e maior resistência mecânica a compressão a longo prazo. Normalmente é utilizado em grandes volumes de concretos, devido ao baixo calor de hidratação e em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos devido sua baixa porosidade, classe de resistência de 25 e 32 Mpa NBR 5736 (1991).

2.1.1.6 CP V - Cimento Portland de alta resistência inicial

O CP V-ARI possui em sua composição 100 % a 95 % de clínquer mais gesso e 0 % a 5 % de material carbonático, em massa. Esse tipo de cimento tem alta reatividade nas primeiras horas de aplicação atingindo elevadas resistências em um curto intervalo de tempo chegando a 26 Mpa, seu uso é recomendado em obras industriais que exigem um tempo de desforma menor e na fabricação de concretos NBR 5733 (1991).

2.1.1.7 CP – RS - Cimento Portland resistente a sulfatos

Os materiais sulfatados estão presentes em redes de esgoto, ambientes industriais e água do mar, sua classe de resistência é de 25, 32 e 40 Mpa. De acordo com a NBR 5737 todos os tipos de cimento básicos podem ser considerados resistentes a sulfatos desde que atenda pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8 e 5% em massa;

- Cimentos que contiverem entre 60 e 70% de escória granulada de alto-forno em massa;
- Cimentos que contiverem de 25 a 40% de material pozolânico em massa;
- Cimentos que tiverem atecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistências aos sulfatos.

2.1.1.8 CP – BC – Cimento Portland baixo calor de hidratação

Esse tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica devido ao calor liberado durante a hidratação do cimento NBR 13116.

2.1.1.9 CP – B – Cimento Portland Branco

É conseguido através de matérias-primas com baixo teor de magnésio e ferro e utilização de caulim no lugar da argila. O CP-B pode ser dividido em estrutural aplicado para fins arquitetônicos porém com a pigmentação branca e não estrutural utilizado para rejuntas de cerâmica NBR 12989.

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO NA COMPANHIA INDUSTRIAL DE CIMENTO APODI

A fábrica de Cimento Apodi localizada em Quixeré-CE conforme figura 6, que é uma fábrica completa possuindo o processo de fabricação do clínquer, produto base para a fabricação do cimento.

Figura 6: Fábrica de cimento Apodi em Quixeré-CE.

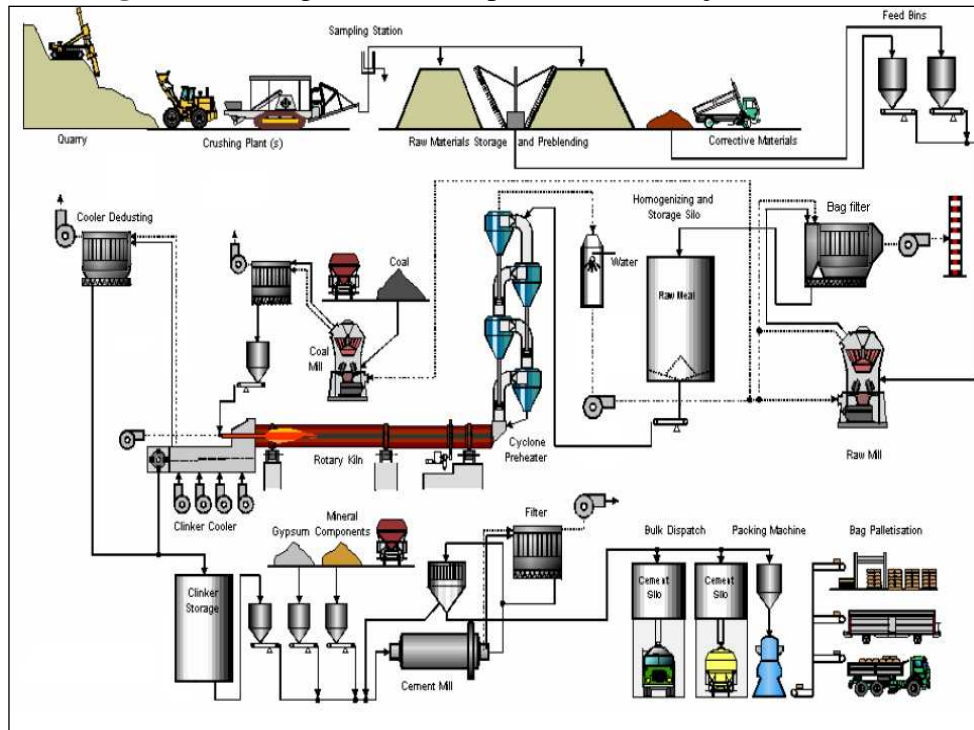


Fonte: [www.youtube.com/watch?v= U fn1YIpDc](https://www.youtube.com/watch?v=Ufn1YIpDc).

As fábricas de cimento são compostas por vários equipamentos, podendo ter diversos layouts que variam de acordo com cada projeto que leva em consideração sua localização,

capacidade e tipos de equipamentos utilizados. A figura 7 exemplifica uma fábrica de cimento com os diversos tipos de equipamentos utilizados.

Figura 7: Fluxograma de uma planta de fabricação de cimento.



Fonte: CEMENT TECHNOLOGY ANTEA 2010

A escolha da localização para a instalação de uma fábrica de cimento faz parte de uma análise do projeto. Segundo NETO (2009), um projeto é um conjunto de informações sistematizadas, que permitem verificar a viabilidade econômica-financeira de realizar um determinado empreendimento, cujo objetivo é atender alguma necessidade. Para que o projeto seja viável devem ser avaliados vários aspectos, entre eles:

- Setor econômico;
- Finalidade;
- Uso;
- Estudo de mercado;
- Descrição do produto;
- Classificação dos bens;
- Ciclo de vida do produto;
- Condições de comercialização;
- Demanda;

Além dos custos com as instalações fabris, outro aspecto fundamental para a instalação da planta é a proximidade das jazidas de calcário para minimizar os custos com o transporte do calcário extraído, para a produção do clínquer consequentemente do cimento.

3.1 Extração do calcário e preparação das matérias-primas

O calcário é uma rocha de origem sedimentar sua extração inicia-se na mina que é o depósito mineral. A maior parte das minas de calcário no mundo são lavradas a céu aberto. Dessa forma as principais etapas da lavra de calcário nessas condições são: remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos, e transporte até a usina de processamento (SILVA,2009). Após a extração o calcário passa por um britador de impacto conforme figura 9 que tem a função de cominuir as partículas do calcário para que o mesmo atenda as necessidades de projeto. A produção nominal do britador da Cimento Apodi (figura 8) é de 800 ton/h composto pela mistura de aproximadamente 90% de calcário e 10% de argila.

Figura 8: Britador de calcário.



Fonte: Cimento Apodi (2018).

Figura 9: Desenho esquemático de um britador de impacto

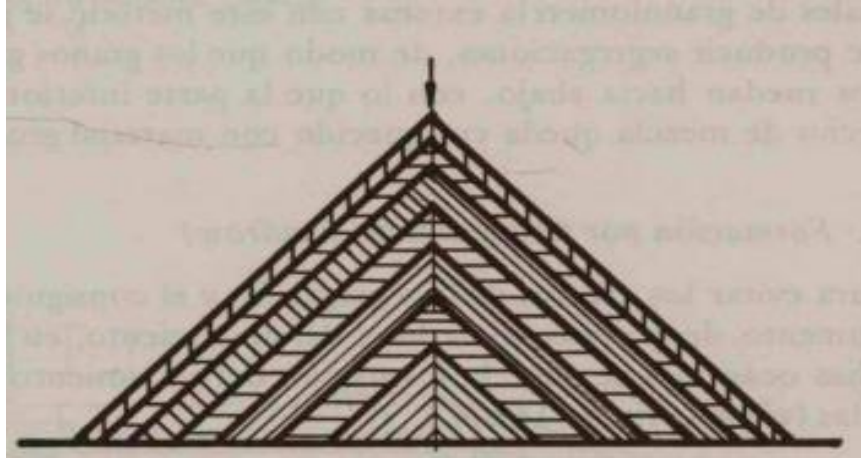


Fonte: ThyssenKrupp, 2014.

Depois de britado o calcário é empilhado para que seja feita a pré-homogeneização, dessa forma o empilhamento acontece de forma longitudinal. A forma mais usual de empilhamento longitudinal é aquela com uma estrutura de telhado de duas águas conforme

figura 10, o material é empilhado em camadas ao longo de todo o comprimento, esse é o método Chevron (DUDA,1977). A figura 11 mostra uma pilha de argilal na fábrica de Cimento Apodi.

Figura 10: Empilhamento do calcário de forma longitudinal.



Fonte: DUDA (1977).

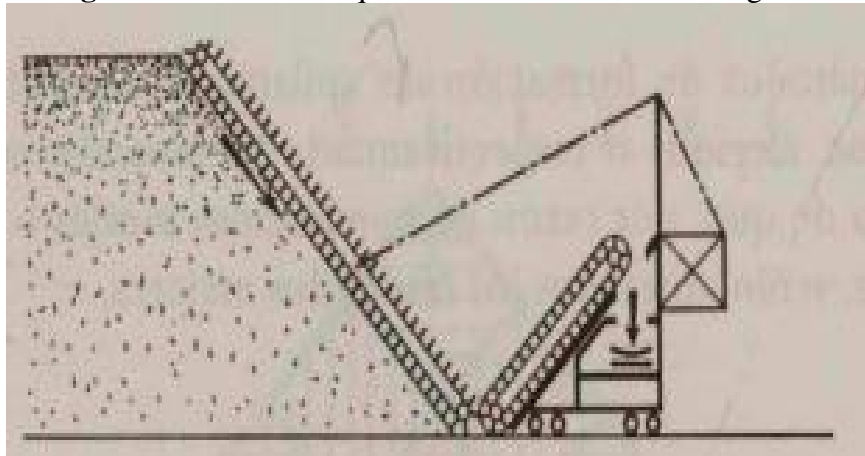
Figura 11: Pilha de argilal usando o método Chevron na fábrica.



Fonte: Francisco Neto (2018).

Depois de empilhado o material é retomado, ou seja, extraído da pilha através da retomadora equipamento que possui ganchos que têm o mesmo perfil da pilha que vai retirando o material de forma lateral, como mostra a figura 12, e alimentando uma correia transportadora responsável por levar o material que será estocado em um silo. Há também as moegas dispositivos metálicos em formato de funil que alimentam as correias transportadoras com outros materiais ricos em ferro e sílica que irão abastecer os silos de corretivos, são chamados de corretivos porque essas materias são dosados buscando ajustar a qualidade do produto que será produzido. A Figura 13 mostra a retomadora de argilal da fábrica de Cimento Apodi.

Figura 12: Desenho esquemático da retomadora de argical.



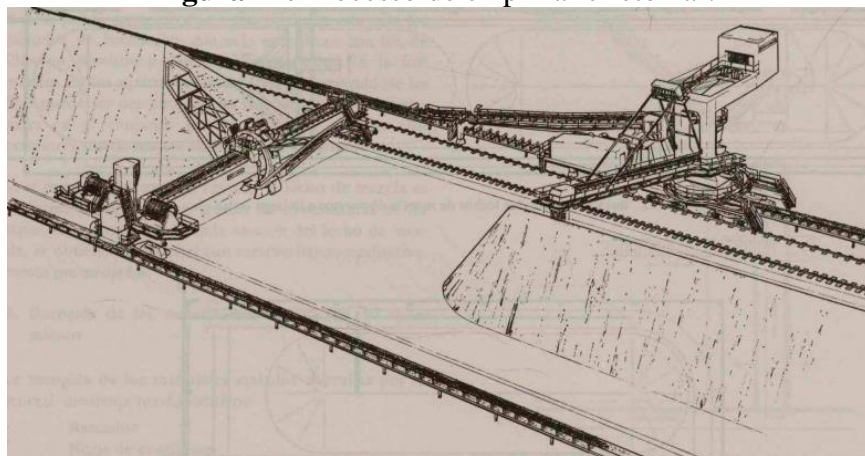
Fonte: DUDA (1977).

Figura 13: Retomadora de argical na Cimento Apodi



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 14: Processo de empilhar e retomar.



Fonte: DUDA (1977).

3.2 Moagem de cru

A moagem de cru é o setor responsável pela produção da farinha que um material fino composto de uma mistura de materiais ricos em óxido de cálcio, óxido de sílica, óxido de ferro e alumínio, responsáveis para a obtenção do clínquer produto sintético utilizado para a fabricação de cimento. A farinha é obtida através da cominuição das matérias primas utilizando um moinho vertical de rolos varrido a ar. Depois de cominuída, a matéria-prima é estocada em um silo para posteriormente ser alimentada no forno. Todo processo produtivo é ditado pela qualidade do produto, pois ela é quem nos diz se o produto está dentro das especificações exigidas por norma atendendo todas as necessidades de segurança e qualidade. Dessa forma é fundamental saber quais os parâmetros têm que ser atendidos para garantir o funcionamento da planta de forma contínua, caso os parâmetros de qualidade não sejam atendidos deve-se parar o funcionamento da planta e corrigir o que necessário for para o correto funcionamento.

Se tratando da farinha, os principais parâmetros de qualidade da composição química a serem controlados em ordem de prioridades são respectivamente:

- Fator de Saturação do Calcário (FSC ou FLS – *Factor Limestone Saturation*)

O fator de saturação relaciona a quantidade de óxido de cálcio com os demais óxidos com os quais ele reage para garantir a porcentagem de concentração dele dentro da meta que é estipulada de 98% a 100%. Seu cálculo é realizado utilizando a equação 01.

$$FSC = \frac{CaO}{2,28SiO + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3} * 100\%$$

- Módulo de Sílica (MS)

O módulo de sílica relaciona o óxido de sílica com os óxidos fonte de elementos fundentes. A meta é que esses valores estejam na faixa de 2,5 a 2,7 (equação 02).

$$MS = \frac{SiO}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

- Módulo de Alumínio (MA)

O módulo de alumínio relaciona os óxidos fonte de elementos fundentes entre eles, pois essa relação influencia na fluidez da produção do clínquer. A meta é que esses valores estejam na faixa de 1,5 a 1,7 (equação 03).

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

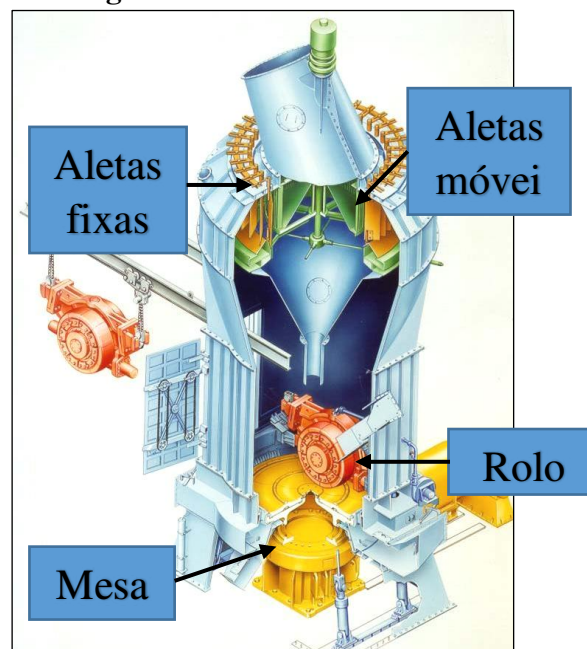
O circuito da moagem de cru é composto por balanças dosadoras que dosam as matérias-primas que estão estocadas nos silos, logo após essa etapa acontece a britagem. As mesmas são as responsáveis por garantir a correta composição da farinha atendo as especificações do FSC

e dos módulos citados acima. Depois de dosada a matéria-prima é transportada através de correias transportadoras que irão alimentar o moinho vertical de farinha. Este tem a função de cominuir o material de uma granulometria máxima de 600 mm para uma de aproximadamente 12% retido em uma peneira de 90um e o transporte desse material é feito através do ar, onde um exautor faz todo o transporte eólico apartir de uma temperatura específica. O moinho possui os seguintes elementos:

- Rolos (elementos responsáveis por exercer pressão no material);
- Mesa (recebe o material e é o elemnto que gira fazendo com que os rolos girem através da força de atrito entre eles e o material);
- Separador (equipamento interligado ao corpo do moinho responsável pela seleção do material, através do movimento rotatório, composto por placas fixas e móveis.
 - Aletas fixas (placas metal fixadas no corpo do moinho)
 - Aletas móveis (Placas que constituem o rotor do separador).

A figura 15 mostra os elementos que compõem um moinho vertical de rolos conforme citado acima. Após esse processo existem mais um parâmetro de qualidade deve ser controlado, a finura, pois impacta no processo de produção do clínquer. A finura é a quantidade de material retido na peneira de 90 um (microns). Após sair do moinho essa é a farinha será estocada em um silo de homogeinização com capacidade de 10 mil toneladas depois de passar por dois ciclones responsáveis por segregar o material. A farinha estocada será extraída para alimentar o forno. As análises normalmente são realizadas a cada 2 horas, podendo a frequência ser alterada de acordo com a necessidade do processo.

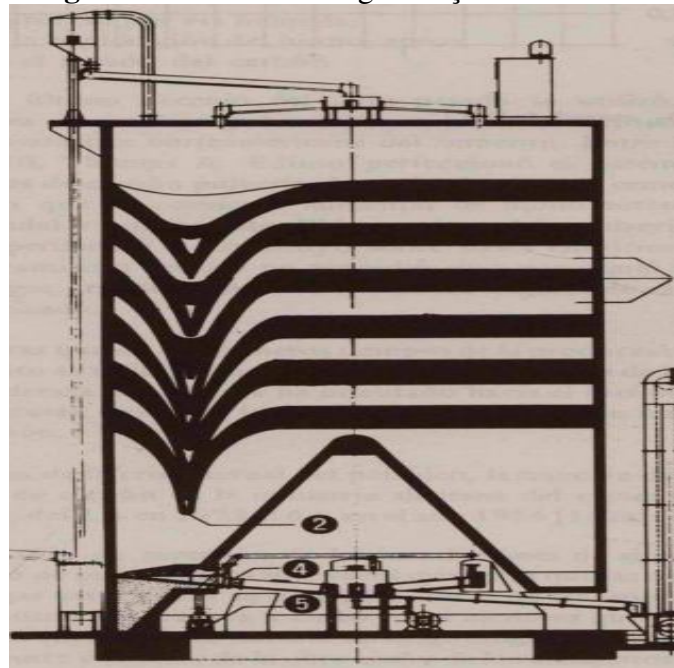
Figura 15: Moinho Vertical.



Fonte: Cement Manufacturing Course (2010).

O silo, além da função de estocagem, também tem a função de homogeneização (silo de cone invertido) a figura 16 mostra como acontece a homogeneização quando inicia-se a extração do material do silo. Na figura 17 é mostrado o layout do circuito da farinha onde a farinha é transportada para o silo. Na planta em questão a alimentação do silo é feita de forma fatiada formando camadas para serem extraídos de forma a serem homogeneizados.

Figura 16: Silo de homogeneização de farinha.



Fonte: DUDA (1977)

Figura 17: Circuito da moagem de farinha na Cimento Apodi.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.3 Produção de clínquer

Os principais fatores que afetam a aptidão à clínquerização de uma farinha são suas composições químicas e mineralógica, sua granulometria e grau de homogeneização. Esses fatores podem ser otimizados de acordo com a necessidade do processo (Centurione). Como regra geral, cerca de 1,5 a 1,6 toneladas de farinha seca são necessárias para produzir uma tonelada de clínquer (KARSTENSEN, 2006). Para a obtenção do clínquer a farinha passa por vários equipamentos e processos até a obtenção do resultado final.

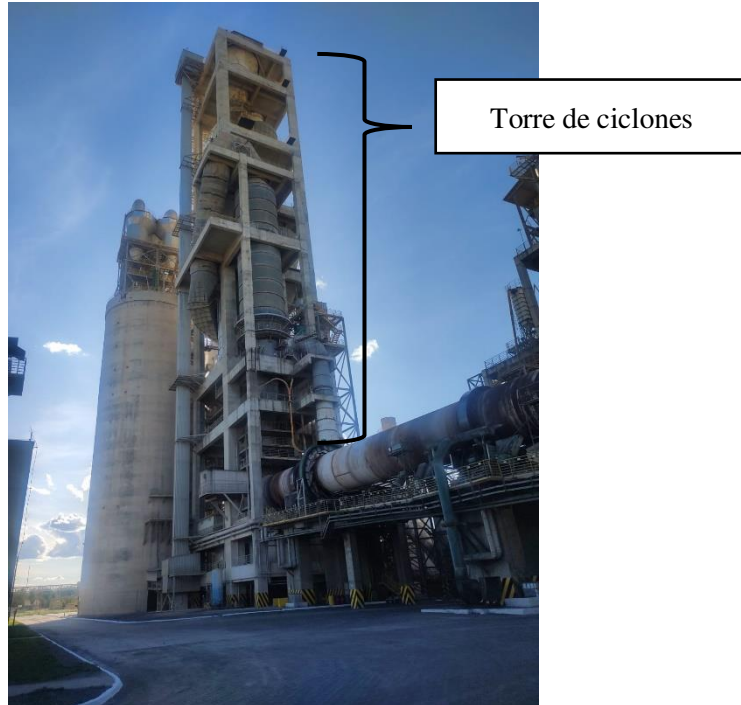
O setor de clínquerização (figura 19), inicia-se apartir da extração da farinha do silo através de calhas transportadoras. A farinha é dosada através de uma balança que alimenta um elevador de canecas que alimenta a torre de ciclones. A torre é formada por ciclones e um pré-calcinador conforme onde ocorre a descarbonatação da farinha, a mesma segue para dentro do forno. No forno, a farinha é exposta a várias temperaturas fazendo com que as reações químicas aconteçam e sejam obtidos os cristais que dão as características do clínquer. Ao sair do forno o clínquer produzido cai no resfriador (figura 20), equipamento responsável por dar um *shock* térmico que irá parar o crescimento dos cristais, processo importantíssimo para garantir a qualidade final do clínquer. Após o resfriador o clínquer é estocado em um silo onde será extraído para a produção do cimento, mostrado na figura 21.

A torre de ciclones (Figura 18) é a responsável por promover o aquecimento da farinha e ao entrar no calcinador há a decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3) tendo como resultado o óxido de cálcio (CaO) e o dióxido de carbono (CO_2). A torre de ciclones promove uma grande redução no consumo de energia necessária para a produção de cimento, pois ao longo de seu percurso os gases aproveitados do forno, ao entrarem em contato com a farinha, transferem calor para o material, ocorrendo a perda de CO_2 (LIMA, 2011). No calcinador ocorre cerca de 90% a 95% da descarbonatação, sua temperatura de trabalho normalmente é de 880°C a 900°C. Essa etapa é a responsável por cerca de 60 % da energia necessária para o processo de fabricação do cimento Portland de acordo com Nilsen (2012).

Os ciclones são equipamentos responsáveis por fazer a separação de partículas finas das grossas em função de seu layout de funil e devido a forma e velocidade de como o material entra. O calcinador é um tubo de maior comprimento em relação aos ciclones na qual recebe uma carga térmica maior para possibilitar a descarbonatação na sua etapa. O advento dos calcinadores possibilitaram a redução do comprimento do forno, reduzindo o tempo de fabricação, ou seja, reduzindo o tempo de residência do material dentro do forno. Ao sair do forno o clínquer vai para outro equipamento que é o resfriador responsável por resfriar o clínquer, depois de resfriado o mesmo é transportado para um silo de onde será extraído para poder fabricar o cimento. É importante reforçar que todo o processo é mapeado através de

coletas para garantir a qualidade do produto durante todas as fases do processo.

Figura 18: Torre de ciclones da fábrica.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 19: Setor de clinquerização.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 20: Resfriador de clínquer.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 21: Silo de clínquer.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.3.1 Clinquerização

A clinquerização de forma efetiva ocorre apartir do momento em que a farinha entra dentro do forno as reações ocorrem de acordo com a temperatura na qual o material está exposto. O forno da planta possui 67 m de comprimento e 4,3 m de diâmetro. A vazão mássica nominal deste forno é de 3500 t/d. Na tabela abaixo está descrito as principais reações que ocorrem durante o processo de sinterização.

Tabela 2 - Principais reações no processo de clinquerização

Temperatura (°C)	Reação
100 - 200	Liberação de água livre, particulamente das argilominerais
500 -700	Desidroxilação dos argilominerais com deslocamento acentuado da estrutura cristalina e consequente elevação da reatividade; ocorre também a transformação do quartzo α em quartzo β .
700 - 900	Decomposição dos carbonatos, com liberação de CO ₂ ; colapso completo das estruturas dos argilominerais; os óxidos de cálcio, sílica, alumínio e ferro liberados encontram-se em um estado ativo devido ao aumento da entropia e às áreas superficiais muito grandes; as primeiras reações de estado sólido ocorrem, conduzindo à formação de aluminatos e ferroaluminatos cálcicos de modo incipiente da belita; ocorre ainda a conversão do quartzo β em cristobalita.
900 - 1200	Até essa faixa de temperatura as reações que ocorrem são de estado sólido, salientando-se a conversão dos ferritos e aluminatos para C ₄ AF e C ₃ A, além da formação de belita a partir da sílica remanescente e dos cristais de cal livre.
1200 - 1350	Por volta de 1200°C já ocorre a cristalização das primeiras alitas, a partir de cristais pré-existentes de belita e cal livre. Ao redor de 1280°C essa reação é incrementada com a formação de fase líquida a partir dos aluminatos e ferroaluminatos cálcicos, com consequente nodulização do clínquer.
Acima de 1350	Desenvolvimento dos cristais de alita, dependendo do combustível assimilação de cinzas.

Fonte: Centurione (1992).

Na tabela 3 está os principais compostos do clínquer e suas atribuições ao cimento.

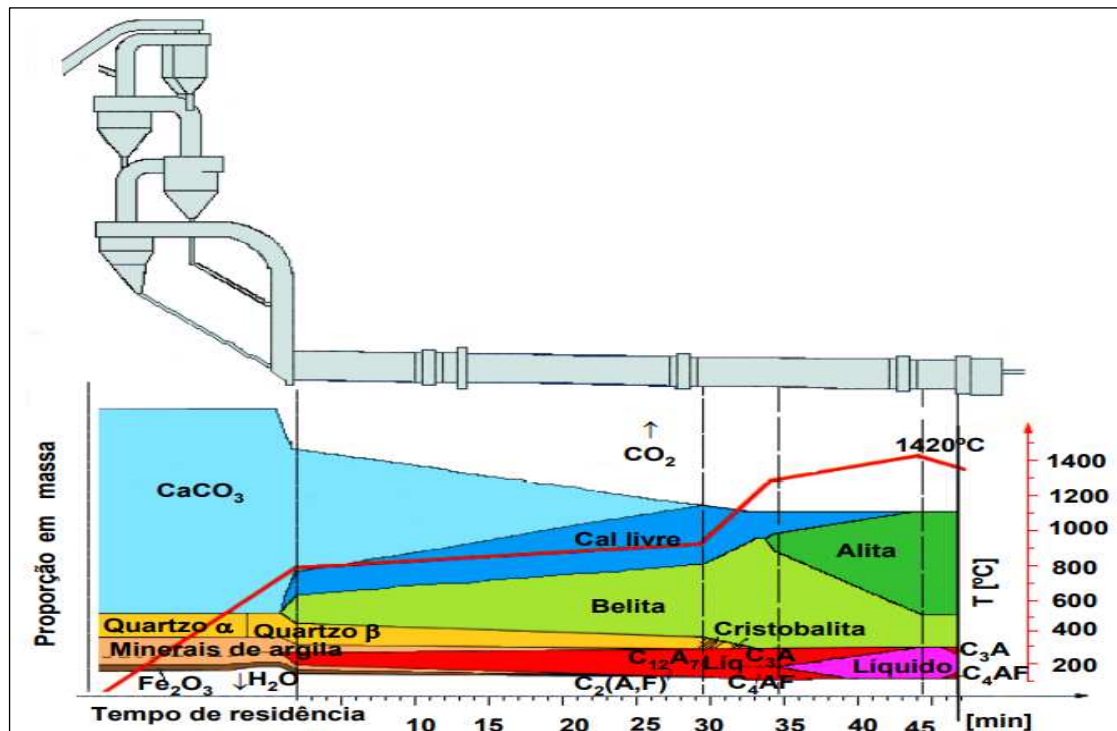
Tabela 3: Principais compostos do clínquer.

Etapa da clinquerização	Reações envolvidas	Temperatura média
Silicato di-cálcico ou C ₂ S	$2 \text{ CaO}_{(s)} + \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2\text{SiO}_{2(l)}$	Contribuem para as resistências finais.
Aluminato tri-cálcico (C ₃ A)	$3 \text{ CaO}_{(s)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(s)} \rightarrow (\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	Reage rapidamente com água.
Ferro aluminato tetra-cálcico (C ₄ AF)	$4 \text{ CaO}_{(s)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(s)} + \text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} \rightarrow (\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$	Dá ao cimento a coloração cinza devido ao ferro
Silicato tri-cálcico do C ₃ S	$3 \text{ CaO}_{(s)} + \text{SiO}_{2(s)} \rightarrow (\text{CaO})_3\text{SiO}_{2(s)}$	Contribuem para as resistências iniciais.

Fonte: Autoria própria.

Na **figura 22**, é mostrado as reações ao longo do forno de acordo com a temperatura e tempo de residência do material.

Figura 22: Reações químicas dentro de um forno de clínquer.



Fonte: Wolter (1985).

Figura 23: Forno de clínquer.



Fonte: Cimento Apodi (2023)

Para que todas as reações citadas acima aconteçam usa-se um equipamento chamado de maçarico, responsável por realizar a queima de combustível para gerar calor para o sistema. Esse sistema é responsável por 40% do uso da energia para o processo de fabricação do clínquer. O maçarico gera uma chama que é composta normalmente por três ares: ar externo que sai de forma longitudinal ao maçarico, ar tangencial que tangencia o maçarico e ar interno, esses ares tem a função de ajustar a forma da chama gerada de uma forma que melhor atenda ao processo,

pois seu ajuste impacta na qualidade do clínquer e estabilidade do processo.

3.3.2 Resfriamento

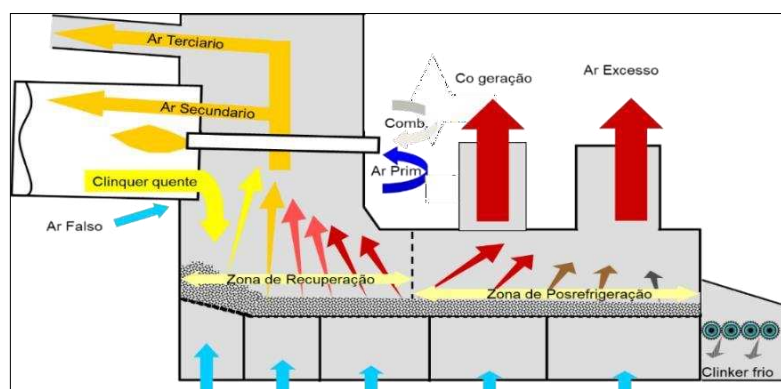
O resfriamento do clínquer é necessário para:

- Garantir a qualidade do clínquer;
- Facilitar o transporte;
- Recuperação de calor.

Os cristais de C_3S são instáveis a temperaturas inferiores a $1250^{\circ}C$, se o resfriamento for lento a fase líquida pode causar um ataque ácido aos minerais formados, desfazendo as reações, principalmente do C_3S . Em um processo adequado de clínquerização um resfriamento rápido, não implica apenas em cristais de C_3S pequenos, que aumentam a resistência do cimento, mas também eleva a sua estabilidade frente a sulfatos de sódio e magnésio (DUDA, 1977).

Existem vários tipos de resfriadores, os principais são os planetários, rotativos e de grelha. Os mais utilizados atualmente são os de grelha. As principais diferenças entre eles está associado ao método de transferência de calor, forma de controle, layout. Na fábrica de Quixeré-CE, o resfriador é de grelhas. O ar de resfriamento é o ar atmosférico que injetado através ventiladores para dentro do resfriador onde irá ocorrer as trocas térmicas entre o ar injetado e o clínquer que vem do forno. Parte do ar proveniente do resfriamento do clínquer é introduzido ao forno como ar secundário, sendo utilizado para a combustão e diluição dos gases do maçarico principal. Outra parcela é utilizada no calcinador como ar terciário na combustão que proporciona a decarbonatação da farinha. O ar secundário, assim como o ar terciário, está diretamente ligado à eficiência de recuperação do resfriador. A geração ineficiente de ambos impacta diretamente no consumo térmico da planta, uma vez que estes, juntamente com o ar primário, são os responsáveis por garantir a queima completa do combustível no maçarico. A figura 24 mostra as correntes de ar quente geradas pelo resfriador da unidade.

Figura 24 - Correntes de ar quente geradas pelo resfriador de clínquer.



Fonte: Cimento Apodi (2018).

Exclusivamente na Cimento Apodi-Quixeré, o gás quente remanescente do resfriador é aproveitado para obtenção de vapor superaquecido em uma caldeira, sendo este direcionado para uma turbina que, através de um gerador, converte o trabalho de eixo em até 6 MW de energia elétrica, o que corresponde a uma economia de 30 % do consumo elétrico horário da fábrica.

3.4 Moagem de combustível

Os maiores custos associados a fábrica de cimento são os custos térmicos e elétricos, dessa forma o uso de combustíveis com preços mais competitivos é de fundamental importância para a viabilidade do produto. Assim como o impacto nos custos os combustíveis têm impacto nas emissões atmosféricas resultante da sua queima, sendo cada vez mais necessário a busca por fontes alternativas de combustível na qual minimizem os impactos ambientais, que são os casos da biomassa. Na fábrica em questão são usados como combustíveis o diesel, coque de petróleo, a biomassa e o *mix* de resíduos que vão desde plásticos, papéis, pneus, entre outros.

O óleo diesel é um combustível obtido da destilação do petróleo bruto, constituído basicamente por uma mistura complexa de hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e aditivos específicos para aumentar o desempenho. O teor de enxofre é adotado e reconhecido mundialmente como indicador do tipo de óleo diesel e da boa qualidade do produto, quanto menor o teor de enxofre, melhor. Os tipos de óleo diesel comercializados no Brasil são diferenciados basicamente pelos teores máximos de enxofre: S-10 (10mg/kg) que é o utilizado na fábrica, S-500 (500mg/kg), S-1800 (mg/kg). É um produto inflamável, volátil e com odor característico (cetesb.sp.gov.br).

Na fábrica de cimento Apodi em Quixeré, o diesel é utilizado no início do aquecimento dos equipamentos, sendo ele utilizado no maçarico do forno para o aquecimento do mesmo assim como nos geradores de gás quente para aquecimento dos circuitos das moagens, após os mesmos atingirem uma temperatura de 650°C onde permite a ignição do coque o diesel passa a ser substituído pelo mesmo, isso se dá devido ao preço mais competitivo do coque. Dessa forma o coque é o combustível mais utilizado na fábrica de cimento. Ele é um material granular negro e brilhante, obtido pelo processo de craqueamento catalítico, sendo constituído principalmente por carbono (90 % a 95 %). O coque também costuma apresentar um alto teor de enxofre, cerca de 5 %, o que não apresenta um problema para a indústria do cimento, pois ao ser queimado, o coque libera SO₂, que irá reagir com diversos compostos presentes na farinha, incorporando-se ao clínquer (BELATO, 2013).

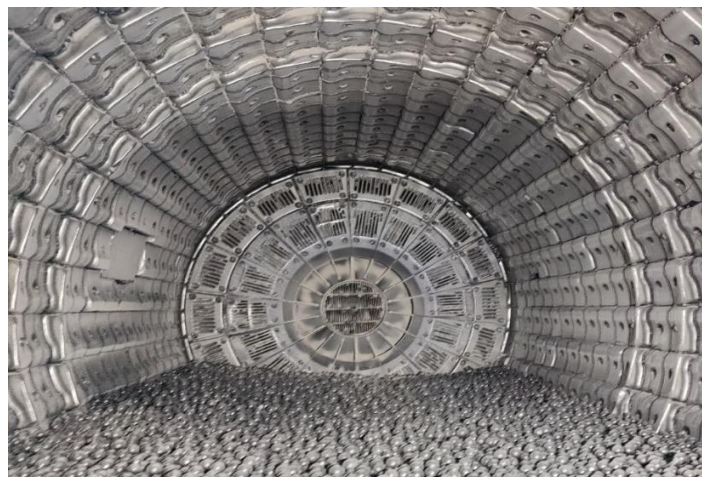
Na Companhia Industrial de Cimento Apodi, existe um moinho de combustível que é um moinho horizontal (figura 25) de bolas utilizado para a cominuição do coque em valores de finuras determinado e bem controlado, tendo em vista que quanto menor a partícula mais rápida é a velocidade de reação o mesmo possui um PCI de aproximadamente 8920 kcal/kgcoque. O moinho de bolas tem a capacidade de 22 t/h de desing e a depender do HGI (Hardgrove Grindability Index) essa produção pode aumentar ou diminuir. O moinho possui uma câmara de secagem e uma de moagem, sendo seu corpo revestido por placas de aço conforme, possui um distribuição de bolas 60mm, 50mm, 40mm, 30mm, 25mm. A figura 26 mostra a parte interna do moinho de bolas existente na Companhia Industrial de Cimento Apodi.

Figura 25: Moinho de bolas



Fonte: Cimento Apodi (2018).

Figura 26: Moinho de bolas internamente.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.5 Coprocessamento de resíduos industriais

O coprocessamento é um setor destinado a utilização de resíduos como substituinte do coque, combustível derivado do petróleo responsável pelo aquecimento do sistema. Segundo Santi e Sevá filho (2004), a produção de clínquer é responsável por 63 % do consumo de energia de uma cimenteira.

A queima do clínquer corresponde a uma das partes do processo que mais tem influência na qualidade do produto, no custo de produção e nas emissões de poluentes. Nesta etapa a matéria-prima é introduzida no forno de cimento e é então sujeita a tratamentos térmicos, entre eles está a sinterização, também denominada como clinquerização, onde ocorre a formação do clínquer à temperaturas em torno de 1500°C, para isso se é exigido uma grande quantidade de combustível (CEMBUREAU, 1999). Dessa forma a busca por produtos alternativos visando tanto o custo benefício como a redução dos impactos ambientais se tornaram cada vez mais intensos.

Na fábrica de Cimento Apodi são usados vários de AFR (*Alternative Fuel Residue*) como: cavaco de cajú, caroço de açaí, casca de castanha, pneu, raspa de couro, resíduos de indústrias farmaceuticas, plásticos, papéis. A figura 27 mostra o galpão onde fica a rampa onde é alimentado o material que será coprocessado, a figura 28 mostra alguns dos materiais utilizados.

Figura 27: Galpão de materiais que são coprocessados.



Fonte: Cimento Apodi (2019).

Figura 28: Materiais utilizados no coprocessamento.



Fonte: Cimento Apodi (2019).

3.6 Moagem do cimento

O departamento da moagem de cimento, mostrado na figura 29, constitui duas moagens verticais com capacidade nominal de projeto de 125 t/h para cimento CPI. Os moinhos verticais são compostos por 4 rolos e uma mesa que faz os mesmos girarem proporcionando a cominuição dos mixes das matérias primas constituídos por clínquer, calcário, gesso e dependendo do tipo de cimento pode ter outros tipos de aditivo como escória, em seu corpo tem-se o separador que tem a função de selecionar as partículas cominuídas em uma faixa específica, fazendo com que as partículas grossas retornem para o processo de moagem e as que possuem tamanho adequado passem se tornando o produto final. O transporte de material é eólico, ou seja, através de um exaustor que provoca o descolamento de massa de ar aquecido (por um gerador de gás quente), transportando o ar juntamente com as partículas cominuídas para um equipamento chamado filtro onde o mesmo separa o ar das partículas, sendo o ar liberado para o meio ambiente através de uma chaminé, enquanto o particulado (produto final) é coletado e armazenado em silos. O filtro é um equipamento composto por mangas que tem a função de reter as partículas, onde através de jatos pulsantes são limpas e o material coletado é estocado.

Figura 29: Moagem de cimento.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.7 Ensacadeira e Expedição

O departamento responsável pelo ensacamento e expedição é o setor de ensacadeira. O setor é composto por duas ensacadeiras com capacidade de 3000 sacos por hora onde é realizado o ensacamento do cimento em sacos de 50 kg e 40 kg. Os sacos são transportados através de

correias para um equipamento chamado paletizadora, onde empilha os sacos sobre os *pallets* que são retirados por empilhadeiras e armazenados até carregarem os caminhões. A expedição do cimento também pode ser realizada através de caminhões a granel, onde o mesmo é retirado diretamente do silo para o caminhão, assim como há a expedição por bags e carregamento pelo caricamat, equipamento com ventosas a vácuo que carregam diretamente no caminhão.

Figura 30: Ensacadeira e carregamento granel.



Fonte: Cimento Apodi (2023).

Figura 31: Caricamat.



Fonte: Cimento Apodi (2023).

4 O SETOR DE PROCESSOS

O setor de processos é um setor de suporte para os diversos segmentos da unidade industrial. Esse setor é responsável pelas realizações rotineiras de medições como: balanço de massa e energia dos equipamentos, realização de granulometria dos materiais, inspeção de equipamentos, além de participar ativamente da busca por novas tecnologias participando de especificações técnicas dos equipamentos, assim como participar de projetos de otimização como IA (inteligência artificial), ajustes de PID's (proporcional, integral e derivativo) que é uma técnica que consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir de um valor desejado e do valor atual do processo

O setor busca entender os problemas, para ajudar na solução e mitigação das anomalias, participando da elaboração de procedimentos operacionais, assim como garantir que alguns dispositivos dos equipamentos estejam íntegros de forma a não ocasionar nenhuma perda de qualidade ou produção. A figura 32 mostra o sistema de gestão das atividades rotineiras do setor de processos.

Figura 32: Sistema de gestão das atividades de processos.

Atividade	Duração estimada (h)	RD1	CO2	Silo de Farinha	PD1	CC1	CM	WHR	Prazo para execução da atividade	Frequência para execução da atividade
Auditagem de Carga Moedora	4		ok						15	Anual
Granulometria de Clínquer	4				ok				7	Mensal
Reclassificação de Corpos Moedores 1a K	40		X						15	Anual
Verificação de Balanças Dosadoras	4	ok	ok				ok		7	Piano interno da Qualidade
Medição de ar falso	4	ok	ok		ok		ok		7	Mensal
Granulometria de Alimentação	4	ok	ok				ok		7	Mensal
Avaliação de Elementos Voláteis	2				X				7	Bimestral
Avaliação de Maçarico	2				ok				7	Mensal
Fator de Homogeneização	84			X					7	Trimestral
Balanço Térmico em Fornos	16				X	X			15	Anual
Medição de Vazão Ar da Greiha / balanço de massa IKN	4					ok			7	Mensal
Desenformo	12				X				7	Bimestral
Amostragem Interna de Material (crash stop)	4		ok						15	Semestral
Curva Granulométrica do Cimento e Resistência	2						X		40	Trimestral
Inspeção interna	4	ok	ok				ok		7	Mensal
Aferição de Instrumentos Portáteis de Processo									-	Vide prazo de calibração
Determinação da eficiência dos Ciclones	4				X				15	Anual
Determinação do tamanho máximo do corpo moedor	2		X						-	Anual
Balanço de massa e energia	3		ok				ok	ok		Mensal
Alinhamento do maçarico	2				X					Anual (GP)
Sondagem de refratário	4				X					Anual (GP)
Inspeção e teste de aeração	2					X				Anual (GP)
Inspeção nos ventiladores de processo	2	X	X			X	X			Preventivas
Inspeção nos ventiladores de processo (torno)	2				X					Anual (GP)
Determinação de calor de reação da farinha	2				X					Bimestral
Medição de perdas por radiação e convecção	4				X	X				Bimestral
Determinação de temperatura do clínquer	2					X				Mensal
Inspeção nos filtros de processo	2		X				X			Mensal
Inspeção nos filtros de processo	2				X					Anual (GP)

Fonte: Cimento Apodi (2023).

6 CONCLUSÃO

Uma fábrica de cimento é uma indústria de transformação que possui inúmeros equipamentos e processos abordados no curso de Engenharia Química, a vivência na Companhia Industrial de Cimento Apodi nos permite interligar os conhecimentos adquiridos na sala de aula e sua aplicação na prática entendendo de que forma as empresas implementam e executam essas atividades.

A vivência desse ambiente nos permite desenvolver aptidões e conhecimentos necessários para desempenhar atividades exigidas no mercado de trabalho, assim como entender de que forma uma corporação funciona, pois para que haja um bom funcionamento existem vários setores que auxiliam e dão suporte para que os processos possam acontecer alguns deles são: RH (Recursos Humanos), logística, financeiro, relações exteriores, saúde e segurança do trabalho, meio ambiente, projetos, manutenção. Ou seja, para que o processo produtivo funcione bem, esses setores têm que ter o funcionamento sistêmico, todos compartilham dos mesmos valores e pilares que na Companhia Industrial de Cimento Apodi são: segurança, pessoas, excelência, respeito, cliente, sustentabilidade e inovação.

A experiência dentro do ambiente industrial vai além dos conhecimentos técnicos, eles nos faz observar o comportamento das pessoas diante dos desafios e entender qual a melhor forma de se comportar diante de adversidade e qual o olhar do outro em relação a essas atitudes, percebendo se os comportamentos são ou não aceitos.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009. **Uma Breve História do Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>> Acesso em: 15 de junho de 2018. ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo: ABCP, 2002, 28 p.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Óleo Diesel**. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimento Portland resistente a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992. 5 p.

BELATO, Mariana Natale. **Análise da geração de poluentes na produção de Cimento Portland com o coprocessamento de resíduos industriais**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

CEMENT TECHNOLOGY ANTEA 2010.

Cement Manufacturing Course ,2010.

Centurione, S.L; Munhoz, F.A. C. Anapproach to the Predication of Portland Clinker Grindability and Strength by Microscopy. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 9^{ed}, New Delhi, 28 nov 1992.

CEMBUREAU. Best Available Techniques for the Cement Industry. The European Cement Association, 1999. Disponível em: . Acesso em: 27/01/2024.

[Cimento Portland: tipos e aplicações – Guia da Engenharia.](#)

CIMENTO APODI, 2017. **Nossa História**. Disponível em: <<http://www.cimentoapodi.com.br/nossa-historia/>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

CIMENTO APODI, 2017. **Produto**. Disponível em: <<http://www.cimentoapodi.com.br/produto/>>. Acesso em: 20 de junho de 2023

COSTA, W. F. S.; CHOQUE FERNANDEZ, O. J.; SOUSA, M. S. C. Caracterização de escórias de aciaria e de alto-forno produzidas em usinas ao longo da estrada de ferro Carajás para aplicação industrial. Belo Horizonte: XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2019

DUDA, Walter H. **Manual Tecnológico del Cemento**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados s.a., 1977. 340 p.

GALHARDO, Pedro Gutierrez. **Estudo do setor cimenteiro: produção e aplicação**. 2014. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

IEA; WBCSD. Cement Technology Roadmap 2009 – Carbon emissions reductions up to 2050. [s.l.] OECD/IEA; WBCSD, 2009^a. Disponível em: < http://wbcsdcement.org/pdf/technology/WBCSD-IEA_Cement%20Roadmap.pdf.>

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005

KARSTENSEN, Kåre Helge. **Formação e Emissão de POPs pela Indústria do Cimento**. 2 ed. Noruega: WBCSD, 2006. 288 p.

LIMA, André Barbosa de. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

NETO, J. F. C. **Elaboração e Avaliação de Projetos de Investimento Considerando o Risco**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009

NILSEN, A. R. **Combustion of large solid fuels in cement kilns**. 2012. 868 f. Tese (Ph.D.) – Departamento de Engenharia Química e Bioquímica, Technical University of Denmark, Lyngby, 2012.

ÖZBAY, E.; ERDEMİR, M.; DURMUŞ, H. İ. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 423–434, fev. 2016

RESOLUÇÃO CONAMA, n° 264, 26 de agosto de 1999. Define procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos do licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento. Brasil, 1999b. Disponível em: <<https://www.mprs.mp.br/legislacao/resolucoes/1974/>>. Acesso em: 27/01/2024. 2018.

SANTI, Auxiliadora Maria Moura. Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior polo produtor de cimento do país, região metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 2–26, dez. 2018.

SILVA, José Otávio da. Produto RT 55, Perfil do calcário agrícola. Ministério de Minas e Energia, J. Mendo Consultoria, Secretaria De Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Banco Mundial: Projeto Estal, set. 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P27_RT38_Perfil_do_Calcxrio.pdf.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Dados do setor**. 2022. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

THYSSENKRUPP. Britador de impacto. Disponível em em: <http://www.tkfla.com.br/produtos/processo/processo/attachemnet/impactcrushing/>. 22 julh.2023

VAN DEN HEEDE, P.; DE BELIE, N. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations. Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 4, p. 431–442, abr. 2012

WOLTER, A. Influence of the kiln system on the clinker properties. Zement-Kalk-Gips, Wiesbaden, v.38,n.12,p.327-329, Dez 1985.

[www.youtube.com/watch?v= U fn1YIpDc](http://www.youtube.com/watch?v=Ufn1YIpDc)