

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

Marcel Demarco de Souza Oliveira

**ESTUDO DOS MECANISMOS DE HIDRATAÇÃO E NO DESEMPENHO DAS
RESISTÊNCIAS MECÂNICAS À COMPRESSÃO EM ARGAMASSAS DE CIMENTO
SEM CLÍNQUER COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES**

Plano de trabalho apresentado ao Programa
de Pós-graduação em Engenharia de
Materiais para matrícula no doutorado

Orientador: Prof. Dr. Fernando Vernilli Jr.

Lorena - SP

2022

1. OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo é investigar o mecanismo de hidratação e o desempenho das resistências mecânicas à compressão em argamassas de cimento sem clínquer.

2. JUSTIFICATIVA

A preocupação com as mudanças climáticas, aquecimento global e o aumento da poluição tornou imprescindível a criação de políticas verdes para o desenvolvimento sustentável.

O cimento Portland é o produto da construção civil mais utilizado. A sua produção contribui muito para o efeito estufa causador de sérios problemas ambientais. Para substituí-lo parcialmente ou totalmente, são utilizados de preferência materiais que contenham em sua composição o silício (Si) ou alumínio (Al), pois em presença de água reagem com o hidróxido de cálcio e formam produtos cimentícios (SIDDIQUE *et al.*, 2016; THOMAS, 2018; WANG, NOGUCHI, NOZAKI, 2019).

Segundo a CEMBUREAU (THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION, 2020), em 2019 a produção de cimento Portland no mundo atingiu 3,9 Gt, liberando para a atmosfera aproximadamente 2,3 Gt de CO₂ considerando condições médias de produção, o que representa cerca de 7% das emissões antropogênicas de CO₂ (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2018; TOMATIS *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, o Acordo de Paris, estabelecido pela comunidade internacional, propôs metas para redução das emissões de poluentes, de modo que o aumento da temperatura média do planeta seja inferior à 1,5°C até o final do

século. Entretanto, estudos recentes feitos por Jackson *et al.* (2017), baseados no crescimento do produto interno bruto global, alertam para um aumento de cerca de 2% nas emissões de CO₂ em 2017 comparado a 2016, com tendência a maiores índices em 2018. As estimativas feitas pelos pesquisadores, demonstram que as iniciativas adotadas até o momento pelos países são insuficientes para estabilizar os impactos previstos.

Neste contexto, diferentes pesquisas têm estudado a produção de cimentos Portland de baixo impacto ambiental e que não apresentem prejuízos de desempenho em relação aos cimentos convencionais (MONTEIRO; MILLER; HORVATH, 2017; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

As inovações no universo cimentício que tratam de cimentos alternativos estão apenas no seu limiar. Atualmente as adições de subprodutos de diversas áreas estão em alta, vários estudos comprovam as vantagens em substituir parcialmente o Portland pelos subprodutos. Estes podem ser uma aposta futura da indústria, pela sua eficácia com adições minerais comprovadas por vários estudos. Porém, é desafiante a aceitação da tradicional dos novos tipos de cimentos (AITCIN, 2000; CHOI *et al.*, 2014; APRIANTI *et al.*, 2015; MOHAMMED, 2017; TULASHE *et al.*, 2017).

Em uma pesquisa realizada por Oliveira (OLIVEIRA, 2021), foi possível desenvolver um tipo de cimento ecosustentável sem clínquer constituído de escórias siderúrgicas e gesso da construção civil com características cimentíceas compatíveis ao cimento Portland CP-III-32 e CP-II E-32 ao cimento supersulfatado CSS 32,5 N.

De acordo com (OLIVEIRA, 2021) houve um efeito sinérgico entre a escória de aciaria LD e a mistura de escória de alto-forno e gesso ao qual foi possível evidenciar que a escória de aciaria LD atuou como uma espécie de ativador alcalino além de contribuir para o efeito pozolânico das misturas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA RELEVANTE

3.1. CIMENTO PORTLAND

De acordo com a norma ABNT NBR 16697:2018, é possível definir o cimento Portland como sendo um ligante hidráulico obtido pelo processo de moagem do clínquer Portland, com adição de quantidade necessária de sulfato de cálcio e outras adições minerais ao longo de sua fabricação (ABNT, 2018). Ao entrar em contato com a água, esse aglomerante reage quimicamente, acarretando a liberação de calor de hidratação e a formação de uma pasta viscosa e densa. Após certo intervalo de tempo, produtos hidratados que conferem resistência principalmente ao esforço de compressão são obtidos, originando uma pasta endurecida resistente à água (MORAIS, 2020).

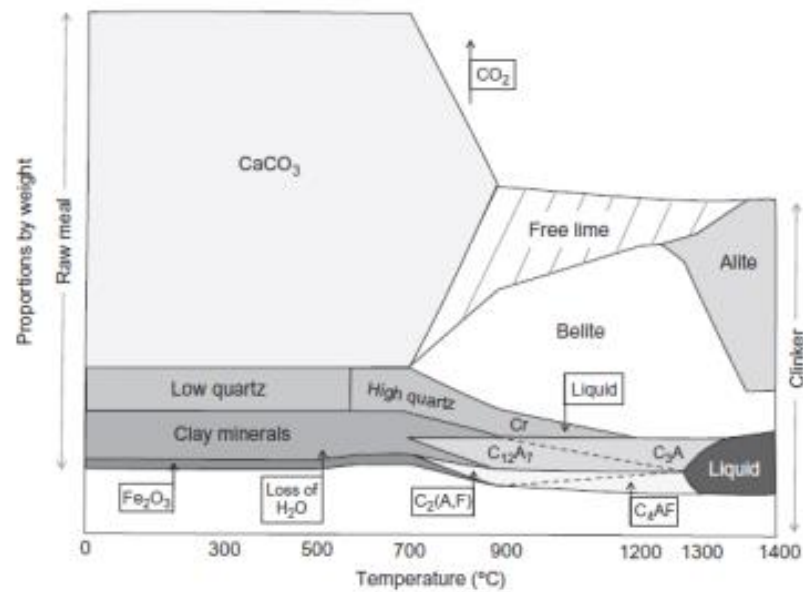
Para a fabricação do clínquer, é necessária uma fonte de cal (CaO), componente em maior proporção, sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). Na maioria dos casos, o CaO é obtido da pedra calcária, enquanto os outros componentes são extraídos do xisto e da argila, que são minerais de silicato contendo compostos de alumina e ferro. A areia de quartzo, que é fonte de sílica, e o minério de ferro também são usados (STROTHER, 2019).

Após a seleção dos materiais, moagem e homogeneização inicia-se o processo de clinquerização. Nesse estágio, ocorre a queima de matéria na forma de carbono e hidrocarbonetos fósseis, os quais, com o aumento da temperatura dão origem ao CO_2 (dióxido de carbono), material altamente poluente e que vai direto para a atmosfera (STROTHER, 2019).

Após o resfriamento deste, são adicionados a gipsita (sulfato de cálcio, ou gesso) e outras adições. Na sequência, o material é moído, resultando no cimento Portland (COSTA L., 2017; MORAES M., 2019).

O processo de formação do clínquer e as proporções indicativas de minerais presentes durante essa conversão são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Proporções indicativas de minerais presentes durante a conversão das matérias-primas em clínquer. Cristobalita (Cr) é um polimorfo de quartzo de alta temperatura.



Fonte: STROTHER (2019).

Segundo a ABNT NBR 16697:2018, existem no Brasil oito tipos de cimento Portland diferentes entre si, principalmente em função de sua composição como descritos na Figura 2. Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, e de adições, tais como escórias, pozolanas e material carbonático, acrescentadas no processo de moagem.

Figura 2 – Composição dos cimentos Portland comuns e compostos

Cimento Portland			Composição em Massa (%)			
Sigla	Tipo	Sigla	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material Pozolânico	Material Carbonático
CP I	CP comum	CP-I	95 - 100		0 - 5	
	CP comum com adição	CP-I-S	90 - 94	0	0	6 - 10
CP II	CP composto com escória	CP-II-E	51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
	CP composto com pozolana	CP-II-Z	71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
	CP composto com material carbonático	CP-II-F	75 - 89	0	0	11 - 25
CP III	CP de alto forno	CP-III	25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
CP IV	CP pozolânico	CP-IV	45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
CP V	CP de alta resistência inicial	CP-V-ARI	90 - 100	0	0	0 - 10

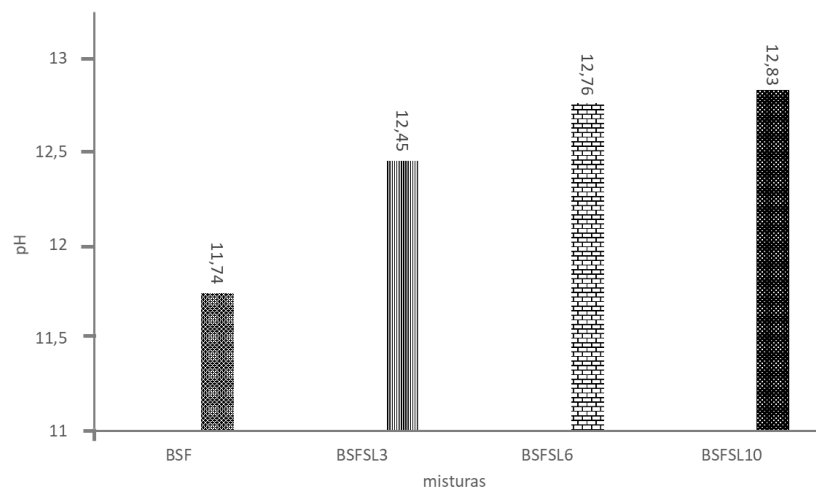
Fonte: ABNT NBR 16697:2018

3.2. CIMENTO SEM CLÍNQUER A PARTIR DE MISTURAS DE ESCÓRIAS SIDERÚGICAS

Desenvolvido no programa de pós-graduação da escola de engenharia de materiais de Lorena PPGEM por (OLIVEIRA 2021), a recente pesquisa demonstrou que a escória de aciaria LD potencializou o mecanismo de hidratação da mistura de escória de alto-forno e gesso através da ativação alcalina e reação pozolânica.

Através dos resultados das medições do pH (Figura 3), foi possível constatar que a presença da escória de aciaria LD, em diferentes proporções, elevou a alcalinidade das misturas favorecendo desta forma o processo de hidratação do cimento sem clínquer.

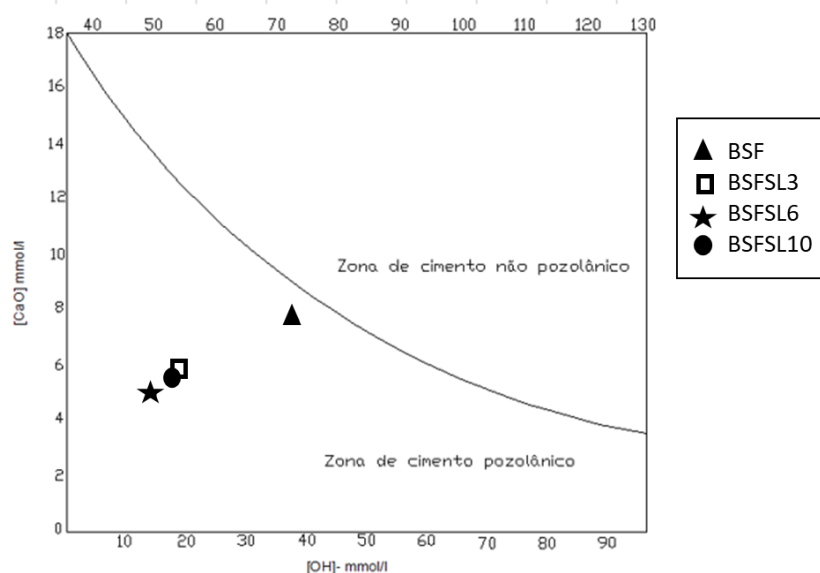
Figura 3 – Gráfico dos resultados da alcalinidade das pastas das misturas sem clínquer



Fonte: OLIVERIA (2021)

Pelo ensaio de pozolancidade foi possível evidenciar também que a presença da escória de aciaria LD contribuiu para eleito pozolânico das misturas (Figura 4).

Figura 4 – Gráfico dos resultados da pozolancidade das misturas sem clínquer.

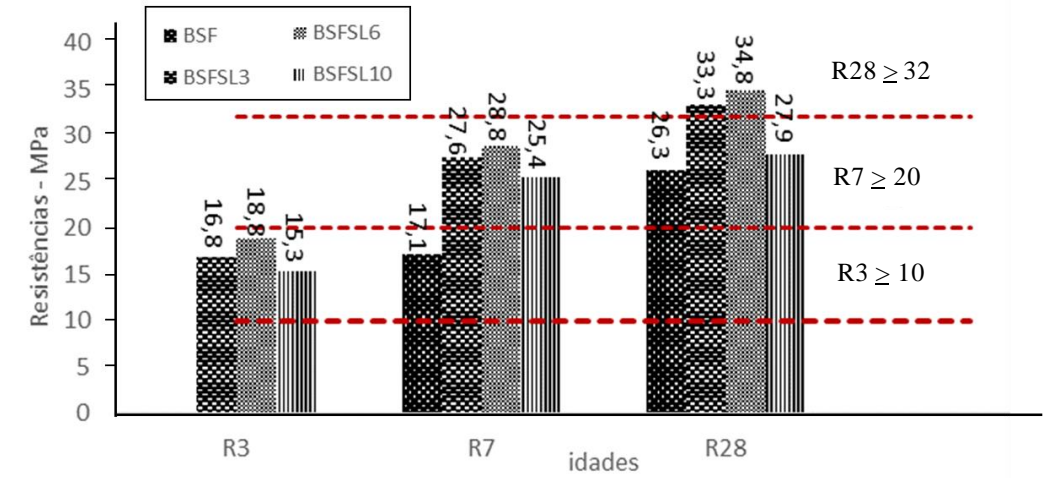


Fonte: OLIVEIRA (2021)

De acordo com (OLIVEIRA 2021), o efeito da alcalinidade e pozolancidade contribuíram diretamente para processo de hidratação das misturas e

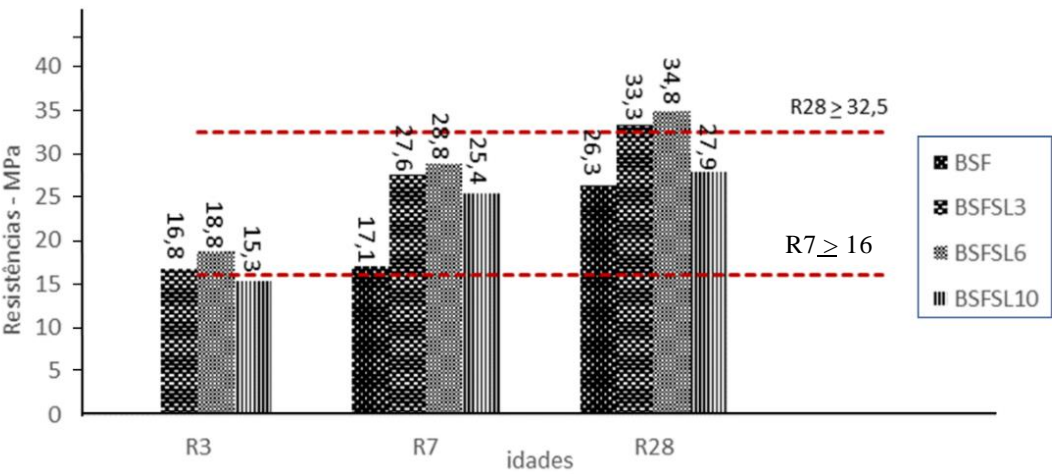
consequentemente para o desempenho das resistências mecânicas à compressão, sendo possível atingir para algumas misturas, resultados superiores as especificações do cimento Portland classe 32 (Figura 5) e ao cimento supersulfatado CSS 32,5 N (Figura 6).

Figura 5 – Gráfico dos resultados das resistências mecânicas à compressão das misturas sem clínquer versus limites normativos do cimento Portland (CPIII 32 e CPIIE-32).



Fonte: OLIVEIRA (2021).

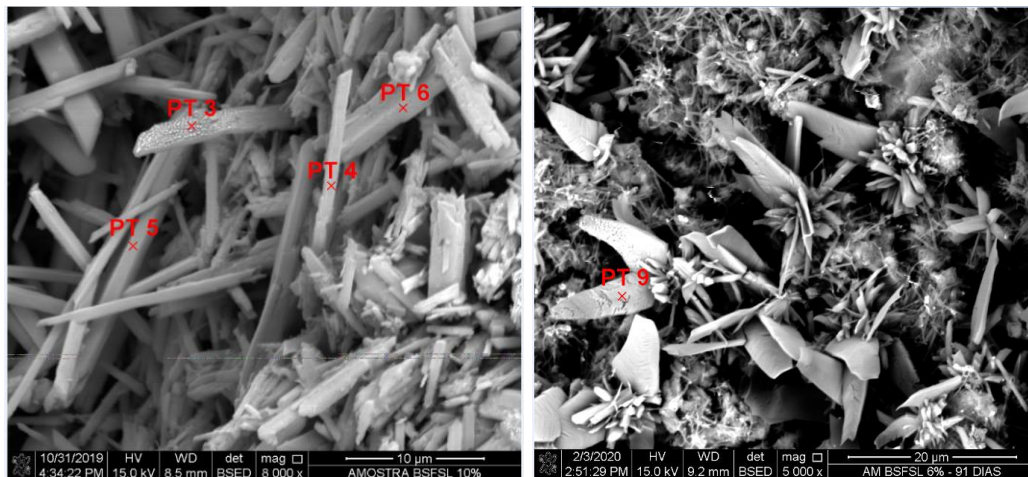
Figura 6 – Gráfico dos resultados das resistências mecânicas à compressão das misturas sem clínquer versus especificações do cimento supersulfatado - CSS 32,5 N.



Fonte: OLIVEIRA (2021).

Os principais produtos de hidratação identificados nas misturas sem clínquer foram a etringita e C-S-H (Figura 7).

Figura 7 – Micrografias indicando principais produtos de hidratação do cimento sem clínquer. A) Agulhas de etringita. B) C-S-H



Fonte: OLIVEIRA (2021).

3.3 ATIVAÇÃO ALCALINA DA ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

De um modo geral, ativação alcalina é o processo pelo qual um aluminossilicato sólido se torna um ligante após ser misturado com uma solução alcalina. Na reação, o aluminossilicato é denominado precursor enquanto a solução alcalina é formada pelo ativador. O material produzido é normalmente considerado uma opção sustentável pois seu processo de fabricação possivelmente possui baixa emissão de carbono, além de ser uma oportunidade de reaproveitamento de coprodutos, resíduos e rejeitos, como acontece com a escória de alto forno e as cinzas volantes (PROVIS, 2017).

Com o aumento do teor de escória na composição da pasta cimentícia, o pH do meio reacional tende a diminuir, comprometendo negativamente a formação dos compostos para aumento da resistência do cimento. Com isso, é importante a utilização de ativadores alcalinos. Dentre as funções do ativador alcalino está a

elevação do pH da matriz, degradando a película protetora que reveste os grânulos da escória de alto-forno, facilitando a dissolução da mesma, e também, agilizar a formação dos produtos hidratados (JUENGER *et al.*, 2011; MASOUDI; HOOTON, 2020; SCHUSTER *et al.*, 2019).

A ativação alcalina da escória granulada de alto-forno produz ligantes cimentícios com propriedades mecânicas comparáveis às do cimento portland e com maior resistência química, sendo uma alternativa para construções em condições altamente corrosivas (como esgotos e ambientes marinhos) (YE; FU; YANG, 2020).

Cada ativador apresenta características específicas que podem influenciar na formação de hidratos e conseqüentemente no desempenho mecânico do produto. Outro fator relativamente importante é a alcalinidade das soluções de KOH, NaOH e CaOH₂ o que demanda muito cuidado na sua utilização devido sua periculosidade (MASOUDI e HOOTON, 2020).

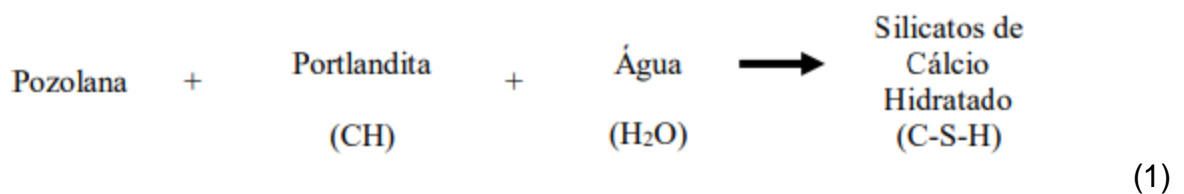
3.4 MATERIAL POZOLÂNICO

Pozolanas, ou materiais pozolânicos, consistem em materiais siliciosos, ou sílico aluminosos, que não apresentam propriedades aglomerantes próprias. No entanto, ao reagirem quimicamente com o hidróxido de cálcio na presença de água, e em temperatura ambiente, tem-se a formação de produtos de cimentação semelhantes aos formados durante a hidratação do cimento Portland (PEREIRA *et al.*, 2020; BAUER, 2014).

A reação pozolânica consiste em uma reação ácido-base, em que os óxidos (ácidos) dos materiais pozolânicos reagem quimicamente com a portlandita (base) gerada no processo de hidratação do cimento, resultando em silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (C-S-H, C-A-H, C-S-A-H). No entanto, é fundamental que os óxidos apresentem uma configuração amorfa, pois, devido à instabilidade estrutural

geométrica, esses materiais se tornariam reativos; ou seja, vulneráveis ao CH. Materiais cristalinos, por apresentarem estrutura geométrica ordenada, consistem em materiais inertes; não sendo, portanto, reativos ao hidróxido de cálcio (COSTA L., 2017; MORAES M., 2019).

A Equação 1 demonstra como a reação pozolânica ocorre, produzindo o C-S-H, que consiste no principal produto de hidratação do cimento (BARROSO, 2011; COSTA L., 2017)



A pozolana consome o hidróxido de cálcio presente no cimento hidratado, resultando no C-S-H como produto da reação (COSTA L., 2017). Contudo, além dessa ação química que a pozolana causa quando misturada em argamassa ou concreto como uma adição ou substituição parcial do cimento, a mesma também age fisicamente nas matrizes cimentícias. Todos esses efeitos, químicos ou físicos, acarreta a modificação da microestrutura do cimento (GARCIA *et al.*, 2015; MORAES M., 2019).

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. MATERIAIS

Para realização deste estudo serão utilizadas as seguintes matérias-primas:

- 1) Escória de Alto-Forno;
- 2) Escória de aciaria LD;
- 3) Resíduo de gesso da construção civil

Todas as matérias-primas serão fornecidas pela CSN Cimentos – Volta Redonda-RJ,

4.2. MÉTODOS

Todas as matérias-primas irão passar pelas etapas de secagem a 110 °C, britagem em britador de mandíbulas, moagem em moinho de bolas à seco até tamanho de partícula abaixo de 0,149 mm (peneira ABNT 100) e remoção de frações metálicas com uso de eletroimã.

Para compreender o efeito de cada matéria-prima no mecanismo de hidratação das formulações dos cimentos sem clínquer, serão determinadas as composições químicas e mineralógicas pelas técnicas de espectroscopia por fluorescência de raios X e difratometria de raios X, respectivamente.

Após as determinações químicas e mineralógicas das matérias-primas, serão preparadas misturas de acordos com as formulações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições das formulações dos cimentos sem clínquer

Misturas	escória	gesso [%p]	escória
	alto-forno [%p]		aciaria LD [%p]
CFC 01	80,19	14,15	5,66
CFC 02	80,95	11,43	7,66
CFC 03	83,33	8,33	8,33
CFC 04	78,26	13,04	8,70
CFC 05	76,52	13,04	6,96

Fonte: Autoria própria.

Cada formulação será pulverizada em moinho de bolas até atingirem um valor desejável da superfície específica determinada pelo método de permeabilidade ao ar-blaine (NBR NM 76).

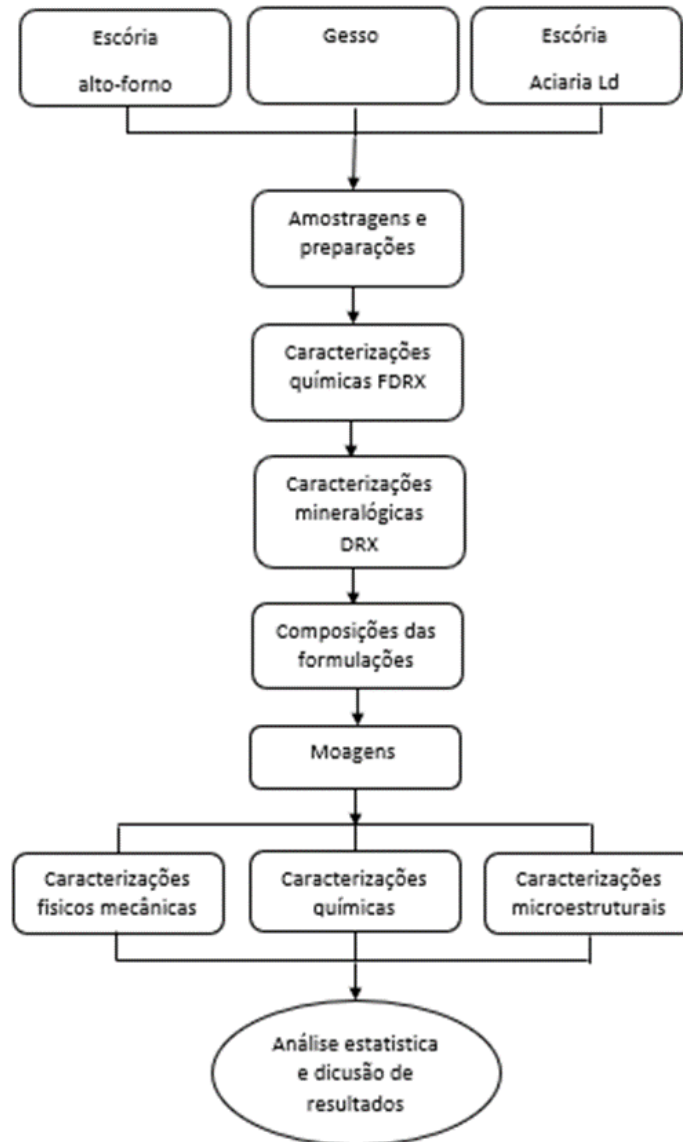
Para cada formulação serão moldados 10 corpos de provas prismáticos com dimensão de 25x25x150 mm para as idades de 3, 7, 14, 28 e 91 dias e ensaios de resistência mecânica à compressão serão realizados (NBR-7215).

Os dados de resistência à compressão receberão tratamento estatístico, sendo adotados os valores entre o intervalo de média somada ao desvio padrão e média subtraída do desvio padrão.

Para compreender o mecanismo de hidratação das formulações e suas correlações com o desempenho das resistências à compressão ao longo das idades, serão realizadas análises fases cristalográficas/mineralógicas, análises microestruturais e análises térmicas para identificar os principais produtos de hidratação formados ao longo do tempo utilizando as técnicas de difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica (MEV/EDS) e análise térmica simultânea (TG/DSC).

O fluxograma da Figura 8 ilustra as etapas descritas para desenvolvimento deste projeto.

Figura 8 – Fluxograma com as etapas para desenvolvimento dos estudos



5. Originalidade

Trata-se de um produto inovador desenvolvido no programa de pós-graduação em engenharia de materiais PPGEM durante o meu mestrado. A partir das misturas de escórias siderúrgicas e resíduo de gesso da construção civil foi possível desenvolver um tipo de aglomerante hidráulico com propriedades cimentícias compatíveis ao cimento Portland convencional (NBR-16647:2018) e ao cimento supersulfatado (EN-15743:2010). Além de atender a todos os requisitos

normativos quanto as especificações técnicas, trata-se de um produto com forte apelo ambiental pelo fato de não possuir na sua composição o clínquer Portland e ser constituído de resíduos siderúrgicos e resíduo da construção civil. O processo de produção do cimento sem clínquer decorrente da minha dissertação esta em processo de patenteamento pela Agencia de Inovação da USP.

6. Recursos Necessários

Para o desenvolvimento deste estudo, todas as matérias-primas serão fornecidas pela empresa CSN Cimentos.

As realizações dos ensaios serão realizadas nos laboratórios da CSN Cimentos, CSN Siderúrgica e EEL-USP.

7. Cronograma de atividades

Atividades	1º Ano				2º Ano				3º Ano				4º Ano			
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Levantamento bibliográfico																
Coleta das matérias-primas																
Preparação das matérias-primas																
Caracterizações químicas																
Caracterizações mineralógicas																
Composições das formulações																
Moagens dos cimentos																
Resistências à compressão																
Caracterizações químicas																
Caracterizações microestruturais																
Análise estatística e Discussão dos resultados																
Conclusão e depósito da Tese																

8. Referência

AITCIN, P.-C. Cements of yesterday and today; Concrete of tomorrow. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 9, p. 1349-1359, 1 set. 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600003653>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

APRIANTI S, E. A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production – a review part II. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 4178-4194, 20 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616000305>>. Acesso em: 9 abr. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland: Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 12. **ABNT, 2018**.

BARROSO, T. R. Estudo da atividade pozolânica e da aplicação em concreto de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes características físico-químicas. Orientador: Guilherme Chagas Cordeiro. Dissertação (Mestrado) - **Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2011**.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 1.5ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CHOI, S. W. *et al.* Sustainable design model to reduce environmental impact of building construction with composite structures. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 823-832, 20 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616310708>>. Acesso em: 13 out. 2019.

COSTA, L. F. Estudo do bagaço da cana de açúcar como material para construção civil no estado de Pernambuco: sistema ternário com metacaulim e cal hidratada. Orientador: Antônio Acacio de Melo Neto. **Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental)** - Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2017.

COSTA, L. F. Estudo do bagaço da cana de açúcar como material para construção civil no estado de Pernambuco: sistema ternário com metacaulim e cal hidratada. Orientador: Antônio Acacio de Melo Neto. **Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental)** - Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2017.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F. Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo. *Cerâmica*, São Paulo, v. 61, p. 251-258, 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry**. [s.l: s.n].

JACKSON *et al.* Warming signs for stabilizing global CO₂ emissions. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 11, p. 1-4, 2017.

JUENGER, M. C. G. et al. Advances in alternative cementitious binders. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1232–1243, 2011.

MASOUDI, R.; HOOTON, R. D. Influence of alkali lactates on hydration of supersulfated cement. **Construction and Building Materials**, v. 239, p. 117844, 2020.

MASOUDI, R.; HOOTON, R. D. Influence of alkali lactates on hydration of supersulfated cement. **Construction and Building Materials**, v. 239, p. 117844, 2020.

MOHAMMED, S. Processing, effect and reactivity assesement of artificial pozzolans obtained form clays and clay wastes: A review. **Construction and Building Materials**, v. 140, p. 10-10, 1 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181730274X>>. Acesso em: 25 out. 2019.

MONTEIRO, P. J. M.; MILLER, S. A.; HORVATH, A. Towards sustainable concrete. **Nature Materials**, v. 16, n. 7, p. 698–699, 2017.

MORAIS, B. B.; DA SILVA, L. P.; LIMA, L. R.; INÁCIO, R. F.; SANTOS, R. S.; PRADO, R. A.; SOUSA, W. I. C. de. Análise das propriedades do concreto com variação dos tipos de cimento. Revista Científica Multidisciplinar **Núcleo do Conhecimento**, [S. I.], v. 1, p. 5–25, 2020

OLIVEIRA, Marcel Demarco. Estudo da obtenção de cimento sem clínquer a partir de misturas de escória siderúrgicas. Orientador: Dr. Fernando Vernilli Junior. Dissertação (Mestrado) – **Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais PPGEM**, Escola de Engenharia de Lorena USP EEL. Lorena, 2021.

PEREIRA, A. M.; MORAES, J. C. B.; AKASAKI, J. L.; THASIMA, M. M.; SORIANO, L.; MONZÓ, J.; PAYÁ, J. Valorisation of sugarcane bagasse ash (SCBA) with high quartz content as pozzolanic material in Portland cement mixtures. **Materiales de Construcción**, [S. I.], v. 68, n. 330, p. 1–10, 2018.

PROVIS, J. L. Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 40–48, 2018.

SCHUSTER, G. et al. Influência do ativador alcalino no pH e resistência à compressão do cimento supersulfatado: estudo exploratório para uso no concreto armado. **4º Simpósio paranaense de patologia das construções**, p. 291–299, 2019.

SIDDIQUE, R. *et al.*, Properties of bacterial rice husk ash concrete. **Construction and Building Materials**, v. 121, p. 112-119, 15 set. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181630890X>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

STROTHER, PETER DEL. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete: Manufacture of Portland Cement*. 5. ed. Elsevier, 2019.

THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **Activity Report** – 2019. Brussels: CEMBUREAU, 22 jun. 2020.

THOMAS, B. S. Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – **A comprehensive review Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2018.

TOMATIS M. *et al.*, Assessing the Environmental Sustainability of an Emerging Energy Technology; Solar Thermal Calcination for Cement Production. **Science of the Total Environment**, v. 742, p. 140510, 10 nov.2020.

TULASHIE, S. K. *et al.* Investigation of the compressive strength of pit sand, and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 383-387, 1 OUT. 2017.

WANG, D.; NOGUCHI, T.; NOZAKI, T. Increasing efficiency of carbon dioxide sequestration through high temperature carbonation of cement-based materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117980, 20 nov 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619328501>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

YE, Hailong; FU, Chuanqing; YANG, Guojun. Alkali-activated slag substituted by metakaolin and dolomite at 20 and 50°C. **Cement and Concrete Composites**, [S. l.], v. 105, n. November 2019, p. 103442, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103442>>.