



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTOR DE PAIVA RODRIGUES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO ORGÂNICO À BASE DE CACTO
CEREUS JAMACARU (MANDACARU) NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND.**

JOÃO PESSOA

2022

JOÃO VICTOR DE PAIVA RODRIGUES

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO ORGÂNICO À BASE DE CACTO *CEREUS*
JAMACARU (MANDACARU) NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS DE CIMENTO
PORTLAND.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como pré-requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Cibelle Guimarães Silva Severo.

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R696e Rodrigues, Joao Victor de Paiva.

Estudo da influência de aditivo orgânico à base de cacto cereus jamacaru (mandacaru) nas propriedades de argamassas de cimento portland / Joao Victor de Paiva Rodrigues. - João Pessoa, 2022.

56 f. : il.

Orientação: Cibelle Guimarães Silva Severo.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Materiais alternativos. 2. Propriedades mecânicas. 3. Concreto. 4. Secagem por atomização. I. Severo, Cibelle Guimarães Silva. II. Título.

UFPB/CT

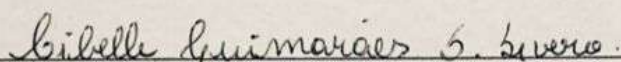
CDU 621(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO VICTOR DE PAIVA RODRIGUES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO ORGÂNICO À BASE DE CACTO
CEREUS JAMACARU (MANDACARU) NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND.**

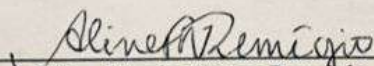
Trabalho de Conclusão de Curso em 30/11/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Cibelle Guimarães Silva Severo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

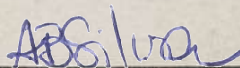
APROVADO



Givanildo Alves de Azeredo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, que muito me ensinaram a respeito da vida e por nunca deixarem faltar nada, sobretudo, amor. Também, a eles, devo imensa gratidão por minha concepção, minhas raízes, minhas asas, meus valores e, principalmente, por mostrarem que o estudo é o melhor caminho. Agradeço às amizades solidificadas ao longo da minha graduação, que muito deixaram a caminhada mais leve. Por fim, devo agradecimentos especiais ao Prof. Heber Sivini, Gabriella Cavalcante e Yasmim Rocha pela confiança depositada e por permitirem a execução desse estudo, bem como à Prof. Cibelle Guimarães pela disponibilidade da orientação.

RESUMO

Frente aos processos ambientalmente onerosos, a indústria da construção civil é movida por uma necessidade constante de otimização de suas etapas. Um anseio recorrente diz respeito à inovação nos insumos utilizados, bem como à aplicação de materiais com viés natural, principalmente, naqueles já consolidados. Nesse sentido, reiterados estudos buscam compreender o comportamento dos materiais cimentícios com a aplicação de componentes vegetais, entre eles está o uso do cacto como forma de otimizar as propriedades do material. O presente trabalho analisa os efeitos do aditivo orgânico em pó à base do cacto *Cereus Jamacaru* (Mandacaru), obtido pelo método de secagem por atomização, nas propriedades de pastas e argamassas de cimento Portland. No estado fresco, os resultados apontam, para todos os traços analisados, que o aditivo atua como um forte retardador do tempo de pega, sendo capaz de aumentar o fim da pega, nos traços analisados, em até 1402,8% para 2% de adição em relação ao traço de referência. Além disso, como tendência, observa-se, no estado endurecido, que a incrementação do pó provoca uma redução na capacidade de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova aditivados em até 74,6% (0,5% de adição), bem como, uma tendência de decréscimo da resistência à compressão, de maneira em que se observa os maiores valores para o traço referência R (0% de adição) com 35,4 MPa e o traço D (0,1%) com 33,7 MPa. Por fim, a partir do estudo da microestrutura do aditivo, bem como dos diversos estudos encontrados na literatura, busca-se entender os motivos para esse comportamento.

Palavras-chaves: Materiais alternativos, propriedades mecânicas, concreto, secagem por atomização.

ABSTRACT

In view of the environmentally costly processes, the civil construction industry is driven by a constant need to optimize its stages. A recurring desire concerns innovation in the inputs used, as well as the application of materials with a natural bias, especially in those already consolidated. In this sense, repeated studies seek to understand the behavior of cementitious materials with the application of plant components, among them is the use of cactus as a way to optimize the properties of the material. The present work analyzes the effects of the organic powder additive based on the *Cereus Jamacaru* (Mandacaru) cactus, obtained by the spray drying method, on the properties of Portland cement pastes and mortars. In the fresh state, the results indicate, for all the analyzed mix, that the additive acts as a strong retarder of the setting time, increasing the hardening time of the pastes, in up to 1402.8% for 2% of addition in relation to the reference trace. In addition, as a trend, it is observed, in the hardened state, that the increment of the powder causes a reduction in the capacity of absorption of water by capillarity in the samples with additives, in up 74.6% (0.5% addition), as well as a tendency to decrease the compressive strength, the highest values are observed for the reference mix R (0% addition) with 35.4 MPa and the mix D (0.1% addition) with 33, 7 MPa. Finally, from the study of the microstructure of the additive, as well as the various studies found in the literature, the reasons for this behavior are sought.

Keywords: Alternative materials, mechanical properties, concrete, spray drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da produção do cimento Portland por via seca	16
Figura 2 - Representação de uma seção do clínquer	17
Figura 3 - Fases da hidratação do cimento Portland.....	18
Figura 4 - Relação de tempo e enrijecimento	20
Figura 5 - Comportamento da resistência em função do fato água/cimento	22
Figura 6 - Resistência do concreto em função do fator água/cimento	24
Figura 7 - Mandacaru (Cereus Jamaru)	29
Figura 8 - Coleta da Mandacaru (Cereus Jamaru)	30
Figura 9 - Extração da Mucilagem da Mandacaru	31
Figura 10 – Métodos de obtenção da Mucilagem e do pó da Mandacaru.....	32
Figura 11 - Spray Drying.....	33
Figura 12 - Ensaio de determinação do tempo de pega.....	36
Figura 13 - Corpos de prova em cura	37
Figura 14 - Compressão de corpos de prova	37
Figura 15 - Ensaio de absorção por capilaridade.....	38
Figura 16 - Ruptura longitudinal dos corpos de prova	39
Figura 17 - FTIR do aditivo orgânico à base de Mandacaru.....	41
Figura 18 - FTIR da pectina do melão caipira.....	43
Figura 19 - Estrutura da pectina	44
Figura 20 - TGA e DTAG do aditivo orgânico	45
Figura 21 - Tempos de fim de pega.....	47
Figura 22 - Decréscimo das resistências	49
Figura 23 - Absorção de água por capilaridade dos CPs.....	51
Figura 24 - Alturas de ascensão da água dos CPs	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comportamento da permeabilidade do concreto em função dos dias	25
Tabela 2 - Percentuais de adição utilizados	35
Tabela 3 - FRX (Análise qualitativa do aditivo)	39
Tabela 4 - FRX (Análise qualitativa do aditivo à base de Mandacaru).....	40
Tabela 5 - Amostra referência (0% de adição)	40
Tabela 6 - Amostra aditivada (3% de adição)	40
Tabela 7 - Comparação das bandas	42
Tabela 8 - Resultados do FTIR similares ao do aditivo orgânico.....	43
Tabela 9 - Tempos medidos no ensaio de pega	46
Tabela 10 - Resistência a compressão dos CPs	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 ABORDAGEM TEÓRICA	14
3.1.2 Componentes do Cimento Portland	15
3.1.3 Hidratação do Cimento Portland	17
3.1.4 Tempo de Pega	19
3.1.5 Propriedades do Concreto.....	21
3.1.5.1 <i>Consistência e trabalhabilidade</i>	21
3.1.5.2 <i>Adensamento</i>	22
3.1.5.3 <i>Coesão</i>	23
3.1.5.4 <i>Resistência mecânica</i>	23
3.1.5.5 <i>Permeabilidade</i>	24
3.2 ADITIVOS PARA ARGAMASSAS E CONCRETOS	25
3.2.1 Aditivos Químicos.....	25
3.2.1.1 <i>Controladores de tempo de pega</i>	25
3.2.1.2 <i>Incorporadores de ar</i>	26
3.2.1.3 <i>Redutores de água</i>	27
3.2.1.4 <i>Pozolanas</i>	27
3.2.2 Aditivos Naturais.....	27
3.3 CACTO <i>CEREUS JAMACARU</i>	28
4 METODOLOGIA.....	30
4.1 COLETA DO CACTO	30

4.2 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM	30
4.3 PRODUÇÃO DO ADITIVO EM PÓ	31
4.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (<i>SPRAY DRYING</i>)	32
4.5 ANÁLISES QUÍMICAS	33
4.5.1 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX)	33
4.5.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	34
4.5.3 Análise Térmica (TGA e DTAG)	34
4.6 ENSAIOS FÍSICOS NO ESTADO FRESCO	35
4.6.1 Ensaio de consistência	35
4.6.2 Ensaio de determinação do tempo de pega	35
4.7 ENSAIOS FÍSICOS NO ESTADO ENDURECIDO	36
4.7.1 Ensaio de resistência à compressão	37
4.7.2 Ensaio de absorção de água por capilaridade	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADITIVO ORGÂNICO	39
5.1.1 Fluorescência de Raios X (FRX)	39
5.1.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	41
5.1.2.1 <i>Pectina</i>	44
5.1.3 Análise Térmica (TGA e DTAG)	44
5.2 ENSAIOS FÍSICOS	46
5.2.1 Determinação do tempo de pega	46
5.2.2 Resistência à compressão	48
5.2.3 Absorção de água por capilaridade	50
6 CONCLUSÕES	53
7 TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Segundo Maury e Blumenschein (2012), no Brasil, o movimento ambiental está relacionado, sobretudo, à industrialização do país e, intrinsecamente, aos impactos sociais provocados pelas suas atividades, principalmente em relação ao exaurimento dos recursos naturais, à modificação do entorno e à saúde humana.

Tal movimento veio a ter uma maior expressão política na década de setenta, a partir da necessidade de se ter um maior controle dos resíduos gerados pelas fábricas, notadamente pela produção de celulose (*Borregard*, em Porto Alegre) e produção de cimento (Fábrica de cimento em Contagem – MG). Os impactos à saúde humana provocados na população do entorno desencadearam a publicação do Decreto-Lei nº. 1.413 de 1975; esse termo teve como objetivo criar uma maior exigência quanto aos impactos gerados pelas indústrias, sendo considerado, mormente, uma das primeiras normas ambientais do país (MAURY; BLUMENSCHIN, 2012).

No que diz respeito à produção industrial do cimento no Brasil, percebe-se que essa atividade tomou seus primeiros passos no final do século XIX, com a instalação da primeira fábrica de cimento (Usina Rodovalho) no Estado de São Paulo (SANTOS, 2011). Posteriormente, com o aumento da população, da necessidade de moradias e de obras de infraestrutura urbana, observa-se indubitavelmente, também, um crescimento nas indústrias de cimento no país. Tal fato se ratifica pelo fato do concreto ser um dos materiais mais utilizados na idade contemporânea, isso se deve aos baixos custos e aos benefícios que o concreto proporciona. Ademais, ainda conforme Maury e Blumenschein (2012), o cimento é tido como uma marca da civilização, pois, desde o século XX, vem sendo a melhor alternativa econômica e uma solução para a problemática da escassez de moradias e assentamentos humanos.

Nas grandes construções contemporâneas, o concreto é usado de maneira intensiva, em razão, sobretudo, de sua matéria-prima ser o calcário, rocha sedimentar abundante e barata, o que torna o cimento um material de certa forma acessível e com um viés igualitário, no sentido em que garante uma melhor qualidade de vida das populações.

Não obstante, no que diz respeito às etapas de produção desse material, percebe-se que essas apresentam grandes impactos ambientais, em razão, principalmente, da emissão de material poluente e nocivo em quase todas as fases de produção, desde, inicialmente, a extração do calcário com a degradação de ambientes naturais, até a etapa de clínquerização, com grande emissão de dióxido de carbono. Apesar de diversas outras atividades humanas contribuírem para a emissão desses gases, Oliveira (2015), afirma que, somente com a atividade de

construção, o concreto e materiais cimentícios são responsáveis pela metade das emissões de um edifício típico.

Além disso, no que diz respeito ao cenário atual da construção civil, a Pesquisa Anual da Indústria da Construção, realizada no ano de 2020, apontou que o dispêndio anual total gasto no setor foi de 273 bilhões de reais, sendo que 62 bilhões foram destinados ao consumo de materiais de construção, o que representa cerca de 22,7% dos gastos do setor. Dessa maneira, percebe-se um gigantesco montante de custos com insumos da construção (IBGE, 2020).

Nesse sentido, frente aos impactos ambientais gerados pela produção dos materiais de construção, bem como aos elevados custos nesse processo, somado à recente crise de abastecimento que o país passou no ano de 2020, observa-se a necessidade de discussões no que tange à diversificação dos insumos utilizados, assim como a implementação de materiais alternativos com características mais sustentáveis frente aos convencionais.

Um dos caminhos é o empenho na melhoria de tecnologias já consolidadas, como o concreto, por meio da adição de produtos não convencionais. Vale salientar, ainda, que a possibilidade de utilização de incrementos ao concreto como forma de otimizar suas características pode permitir a redução dos insumos na sua produção.

Muitos estudos recentes buscam entender o comportamento do concreto frente à adição de materiais alternativos. Uma tecnologia ainda pouco explorada é o incremento de componentes do cacto, planta bastante abundante no semiárido, seja na forma líquida ou na forma de pó.

A maior parte da bibliografia referente ao estudo dos cactos nos concretos diz respeito à adição na forma líquida, a partir da mucilagem do cacto (líquido rico em polissacarídeos extraído da planta) como substituição parcial da água de amassamento de pastas de cimento Portland. Essa abordagem foi feita por diversos autores como Chandra *et al.* (1998), Cárdenas *et al.* (1998), Hernández-Zaragoza (2008), Oliveira (2018), Costa (2014) e em pastas de gesso por Magalhães (2009) e Monteiro (2015). De uma maneira geral, eles observaram alterações no tempo de pega e na plasticidade das pastas no estado fresco, bem como na absorção por capilaridade, resistência à flexão e à compressão das argamassas no estado endurecido.

Não obstante, muitas são as complicações no que diz respeito a trabalhar com a adição na forma líquida, principalmente pelos cuidados a serem tomados no transporte e conservação. Isso se justifica pelo fato de a mucilagem do cacto ser um líquido bastante perecível, oxidando rapidamente com o contato com o ar. Assim, a exigência de refrigeração inviabilizaria economicamente a aplicação e armazenamento na obra. Nesse sentido, a utilização do produto

do cacto na forma de pó mostra-se mais promissora quanto a essa realidade descrita, em vista de uma maior facilidade de armazenagem.

Ademais, na literatura, uma metodologia ainda pouco explorada de obtenção de aditivo em pó para argamassas diz respeito à técnica de *spray drying*, que consiste na secagem por atomização de líquidos, cujo produto final são componentes secos, garantindo uma conservação e concentração dos componentes formados. Tal técnica foi aplicada na presente pesquisa.

Por fim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de estudos no desenvolvimento de materiais alternativos, de alta disponibilidade e de viés sustentável na construção civil, em especial, o aditivo em pó à base de cacto *Cereus Jamacaru* (Mandacaru), cujo aplicação vai ser voltado às argamassas de cimento Portland.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral o estudo do comportamento de argamassas no estado fresco e endurecido frente ao incremento de diferentes percentuais de aditivo à base de cacto Mandacaru.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair a mucilagem pela técnica de cocção e obter aditivo orgânico por meio da técnica de *spray drying*;
- Caracterizar a microestrutura do pó produzido;
- Avaliar os efeitos do aditivo produzido nas propriedades mecânicas dos concretos tanto no estado fresco quanto no endurecido;
- Comparar os resultados obtidos com outros estudos relacionados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ABORDAGEM TEÓRICA

3.1.1 Cimento Portland

A otimização do cimento sempre foi um processo contínuo, ao longo da história diversos foram os momentos que esse material ganhou espaço nas civilizações. Segundo Arnaldo Forti Battagin (2009), a origem do cimento é de aproximadamente 4500 anos, assim, foram utilizadas inicialmente nos grandes monumentos do Egito a partir de uma liga constituída de mistura de

gesso calcinado como material construtivo, os gregos e romanos, por sua vez, utilizaram em suas construções solos de origem vulcânica que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água (BATTAGIN, 2009).

O cimento que se conhece nos dias atuais surgiu através de diversas investigações preliminares que misturavam componentes argiloso e calcários, o inglês John Smeaton, em 1756, conseguiu desenvolver um produto de alta resistência por meio da calcinação desses materiais, Vicat, em 1818, também obteve resultados semelhantes. Porém, só em 1824 que o inglês Joseph Aspdin desenvolveu um pó fino, a partir da queima de pedras calcárias e argila, que apresentava propriedades de solidificação e que não se dissolvia em água (BATTAGIN, 2009).

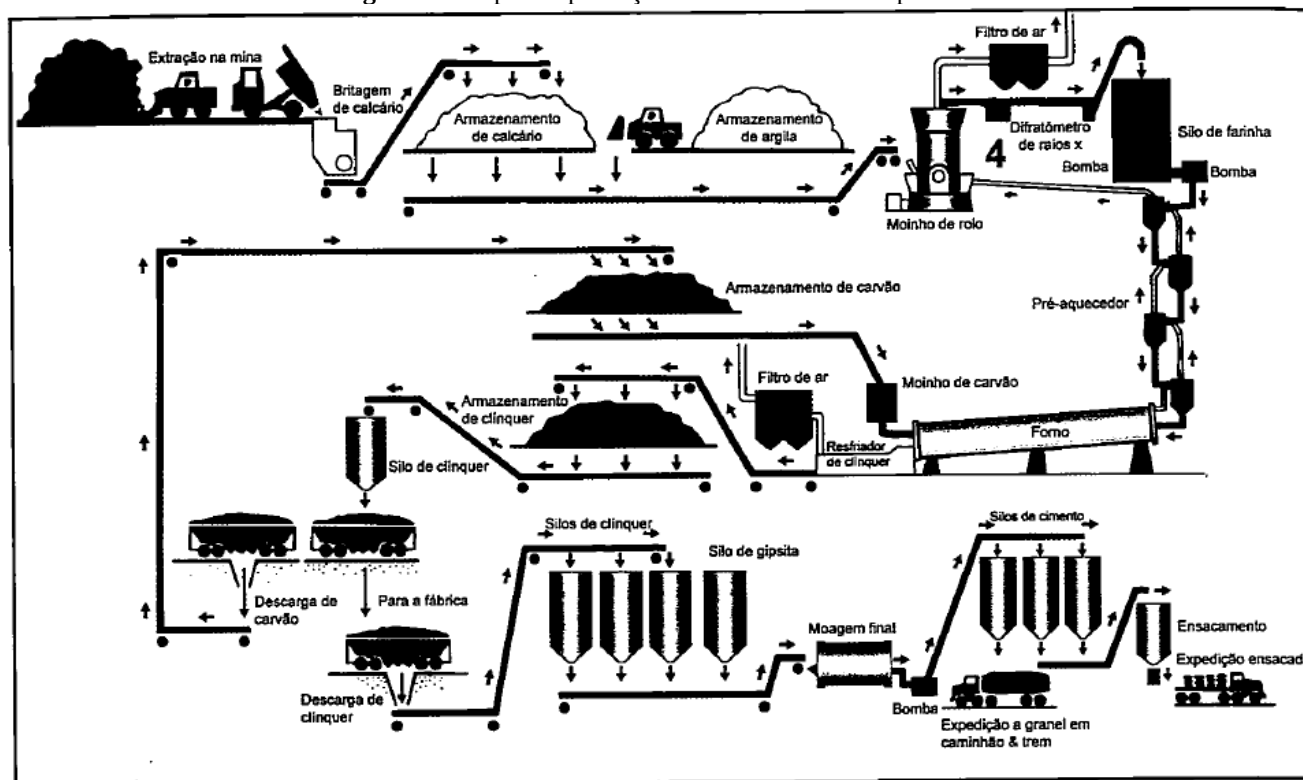
A denominação cimento Portland é proveniente da semelhança, em termos de durabilidade e solidez, com rochas da ilha britânica de Portland. Ademais, apesar da grande eficiência desse material em termos construtivos, pouco se sabia ao certo a sua composição, bem como os mecanismos de reação, em vista sobretudo da precariedade da tecnologia da época.

3.1.2 Componentes do Cimento Portland

O cimento Portland é formado a partir do aquecimento de uma mistura de calcário (CaCO_3) e argila (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) à uma temperatura de 1450°C , nesse processo há ocorrência de fusões parciais e formação de nódulos de clínquer, principal componente do cimento, e a incorporação de gipsita (gesso). O clínquer é formado basicamente por silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$, também conhecido como C_2S), silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, conhecido como C_3S), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A) e ferroaluminato tetracálcico ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF), normalmente tem uma composição na região de 67% de CaO , 22% de SiO_2 , 5% de Al_2O_3 , 3% de Fe_2O_3 e 3% de outros componentes (TAYLOR, 1998).

No que tange ao processo de fabricação, Mehta e Monteiro (2014) afirma que o cimento pode ser produzido tanto pela via seca, como mostra a Figura 1, quanto pela úmida, o gasto energético da primeira via é menor, dessa forma, é preferível não usar a água no processo. Após a seleção do calcário, o pó resultante da britagem desse é misturado com a argila em um moinho de rolo e, em seguida, é levado ao forno rotativo (cilindro de aço inclinado), a mistura entra pelo orifício superior e, à medida em que o forno rotaciona, sai com uma velocidade controlada pela parte inferior, com uma temperatura controlada de 1450°C a 1550°C é possível que as reações químicas para a formação do cimento aconteçam (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Figura 1 - Etapas da produção do cimento Portland por via seca

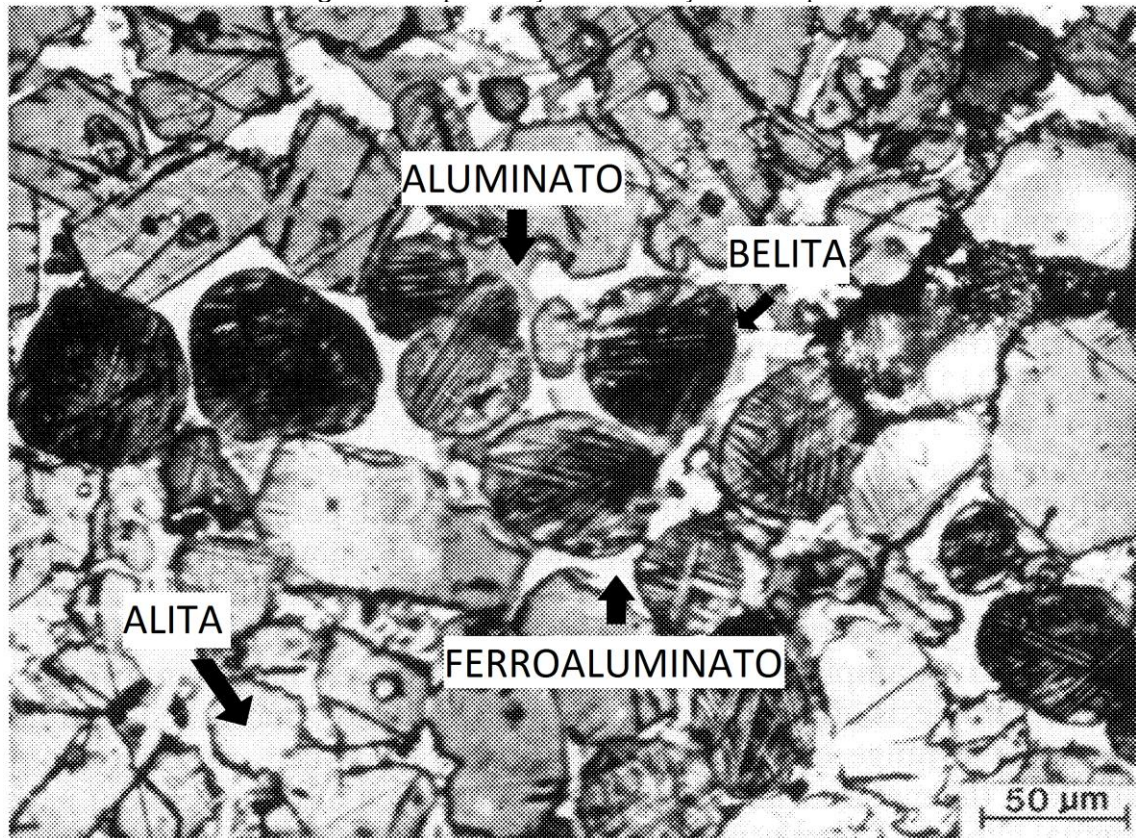


Fonte: Mehta, P. K.; Monteiro, P.J.; 2014

De uma maneira simplista, as reações que ocorrem no forno para a produção do cimento Portland podem ser representadas pela formação de CaO e CO_2 a partir do calcário; SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 a partir da argila; e como resultado final tem-se a alita, belita, aluminato e ferro aluminato ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) como principais componentes do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Após a saída do forno, o clínquer passa por um processo de pulverização em um moinho de acabamento, onde as partículas são encontradas entre 10 e 15 μm , é ainda nesse processo que a gipsita é adicionada na mistura a fim de se controlar a pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Figura 2 - Representação de uma seção do clínquer



Fonte: Adaptado de MEHTA; MONTEIRO, 2014.

A Figura 2 apresenta a micrografia de luz de uma seção do clínquer de um cimento Portland, nela podem ser percebidas cristais angulares de alita (silicato tricálcico), cristais arredondados e estriados de belita (silicato bicálcico), bem como compostos de ferro nas gravuras claras e aluminato nas escuras. No processo de resfriamento do clínquer, a estabilização das alitas e belitas são importantes para a qualidade e reatividade do cimento.

3.1.3 Hidratação do Cimento Portland

A hidratação é uma reação química de introdução da molécula de água em uma dada espécie química, formando um componente hidratado. No âmbito do cimento, essa reação ocorre no momento em que a água entra em contato com esse, envolvendo um conjunto de mudanças e reações complexas que não se resumem a convenções de componentes anidros em hidratados.

Segundo Quarcioni (2008), a partir do contato da água com o cimento, há a ocorrência de trocas iônicas entre os compostos líquidos e sólidos da mistura, bem como percebe-se que os componentes solúveis do clínquer promovem um aumento da concentração de aluminatos,

sulfatos e álcalis. Dessa forma, há a formação de diversos íons (QUARCIONI, 2008), pode-se destacar:

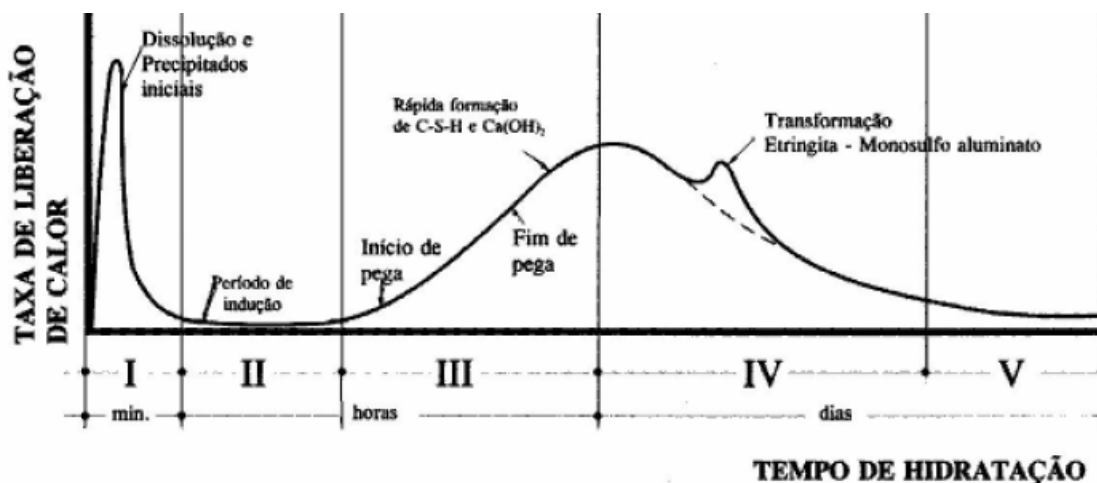
- Ca^{2+} e OH^- : a partir dos silicatos de cálcio;
- Ca^{2+} e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$: pelos aluminatos de cálcio e ferritas;
- Ca^{2+} e SO_4^{2-} : pelos sulfatos de cálcio;
- Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} : pelos sulfatos alcalinos.

Após a dissolução desses, ocorre a transformação dos compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis, esse processo gera o endurecimento da pasta com a formação de cristais de silicato de cálcio hidratado (CSH) e hidróxido de cálcio (CH) (QUARCIONI, 2008).

Segundo Tayler (1998), usando-se um DRX, pode-se perceber que cerca de 70% do C3S reage tipicamente em 28 dias e praticamente tudo em 1 ano, tendo como produto o hidróxido de cálcio (CH) e o silicato de cálcio quase amorfo (CSH), com as propriedades de um gel rígido. Já no que diz respeito ao C2S, esse se comporta de maneira semelhante, porém é formado muito menos CH e a reação é mais lenta, cerca de 30% reage em 28 dias e 90% em 1 ano (TAYLOR, 1998).

De uma maneira sistemática, a hidratação do cimento Portland pode ser dividida em cinco etapas, essas são apresentadas na Figura 3, relacionando o tempo ao calor de hidratação.

Figura 3 - Fases da hidratação do cimento Portland



Fonte: JAWED; SKALNY; YOUNG (1983) e ZAMPIERI.

Na primeira fase (I), também conhecida como estágio inicial ou de pré-indução, há um grande pico de liberação de calor, segundo Quarcioni (2008), esse fato se explica pelo conjunto

de reações exotérmicas que acontecem nos primeiros minutos de contato com a água, principalmente no que diz respeito às dissoluções de sulfatos alcalinos e liberação de íons (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+}), bem como a hidratação do sulfato de cálcio.

A **segunda fase (II)**, que dura em torno de 30 minutos a 3 horas, caracterizando-se como uma etapa de baixa liberação de calor, onde as concentrações de Ca^{2+} e OH^- crescem de maneira não linear (QUARCIONI, 2008).

É na **Terceira fase (III)** que se encontra uma supersaturação de íons, com uma consequente precipitação dos componentes e início da formação dos cristais de silicato de cálcio hidratado (CSH) e hidróxido de cálcio (CH), esse processo promove a diminuição da concentração de íons na mistura.

É nessa etapa, ainda no período de aceleração do calor de hidratação, que se encontra o início e fim de pega, em que a pasta apresenta um substancial endurecimento, consequência da saída do estado fresco e início do estado endurecido. No fim desse estágio, encontra-se o segundo pico de calor de hidratação, é a partir daí que se inicia a desaceleração da geração de calor. Vale destacar ainda que todo o processo de aceleração e desaceleração depende majoritariamente da área específica do clínquer (QUARCIONI, 2008).

Por fim, a **quarta fase e quinta fase** são marcadas pela diminuição de calor, consequência da diminuição substancial de íons em solução, bem como da precipitação de hidratos que dificultam a solubilização das fases anidras.

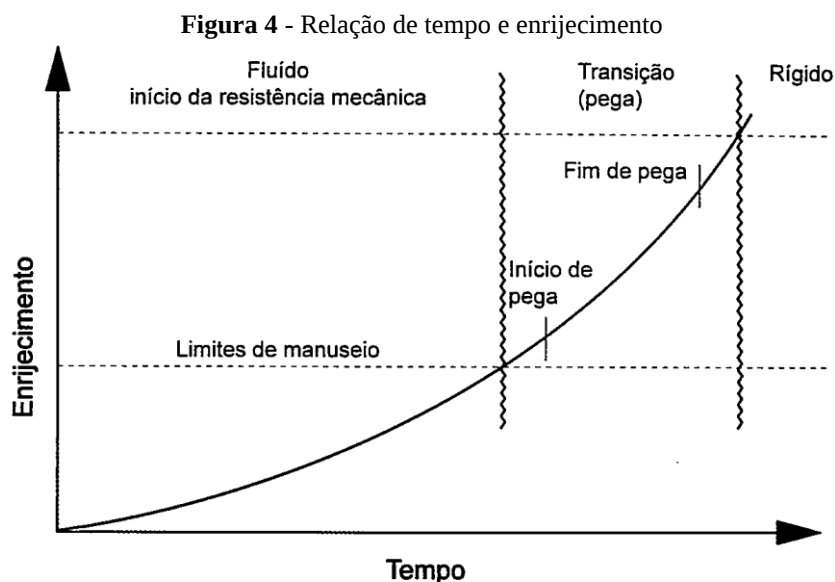
A hidratação do cimento é um processo contínuo, o ganho de resistência é crescente até que todos os reagentes da hidratação são consumidos, os produtos dessa acabam por preencher os espaços anteriormente ocupados pela água.

3.1.4 Tempo de Pega

O tempo de pega é aquele relativo as etapas de endurecimento, solidificação e enrijecimento do cimento, consequência sobretudo das reações de hidratação, ademais, a pega está associada a perda de consistência e trabalhabilidade da pasta de cimento. Os tempos de início e fim da pega são convenções determinadas por meio do método de ensaio.

Sendo assim, em vista do fato de que o tempo de pega é delimitado por pontos de referência que definem o limite de manuseio e o início da rigidez da pasta, o início da pega pode ser entendido como o estado em que a mistura não pode ser adequadamente misturada, lançado e compactado, e o fim da pega, por sua vez, seria o momento em que o concreto começa

a desenvolver resistência de uma maneira significativa (MEHTA; MONTEIRO, 2014), a Figura 4 apresenta essa relação de tempo e enrijecimento.



Fonte: Mindess, S.; Young, J.F.

A partir do primeiro contato do cimento com a água, as reações de hidratação estendem-se por alguns dias, promovendo uma série de mudanças físicas na pasta, tais como ganho de resistência, redução da porosidade e permeabilidade, consequência do preenchimento dos espaços vazios pelos cristais produtos da reação.

Um dos mecanismos de controle da pega utilizados ainda na produção do cimento é a incorporação de gipsita, essa possui o papel de retardar o C_3A , em consequência da diminuição da solubilidade dessa em presença de íons hidroxila, sulfato e álcalis. Além dos sulfatos, alguns outros fatores têm impacto direto no tempo de pega, como a temperatura, quantidade de água, tipo de cimento e aditivos.

No que diz respeito aos aditivos retardadores e aceleradores de pega, percebe-se a existência de duas possibilidades de mecanismo de ação no sistema cimento Portland-água, a primeira se refere ao controle da taxa de ionização dos componentes assim que há o contato com a água, a segunda, por sua vez, se refere ao controle da taxa de cristalização dos produtos da hidratação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Ademais, é recorrente na teoria que aditivos aceleradores devem promover a dissolução dos componentes catiônicos ou aniônicos do cimento, e os retardadores devem impedir a dissolução desses, é normalmente dessa maneira que ocorre o controle dos tempos de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O principal dispositivo utilizado para a determinação do tempo de pega em ensaios de resistência a penetração é o aparelho de Vicat, que consiste basicamente em realizar penetrações continuamente com uma agulha. O início do tempo de pega é determinado quando essa agulha penetra uma distância de 6 ± 2 mm da base do molde com a pasta, o fim da pega, por sua vez, acontece quando a agulha consegue penetrar apenas 0,5mm na pasta, esse ensaio é regido pela NBR 16607 (ABNT, 2018).

Os ensaios de determinação do tempo de pega são de suma importância quando se visa estudar aditivos e a influência desses na velocidade de enrijecimento das pastas, segundo a ABNT NBR NM 9, para que um aditivo seja considerado retardador o início de pega deve ser maior do que 90 minutos e menor que 360 minutos, quanto ao acelerador de pega o aditivo deve promover um início de pega em menos de 30 minutos.

3.1.5 Propriedades do Concreto

O concreto é formado da aglomeração de agregados miúdos e graúdos a partir de uma pasta de cimento, como supracitado na introdução, é um dos materiais mais utilizados do mundo, consequência de sua praticidade e serventia. Em vista disso, quando se objetiva a qualidade das estruturas, bem como da execução da obra, é válido o empenho e estudo de seu comportamento tanto na fase fresca, quanto no estado endurecido. Ademais, vale ressaltar que a grande diferença do concreto para a argamassa está na presença da brita naquele, apesar disso, os estudos com argamassas também são replicáveis para concretos.

3.1.5.1 Consistência e trabalhabilidade

A trabalhabilidade de um material cimentício diz respeito a um parâmetro de manuseio desse, ou seja, é a medida de facilidade ou dificuldade de aplicação do material a depender da natureza da obra. A consistência, por sua vez, é uma característica física associada à fluidez da pasta e pode ser controlada sobretudo pela quantidade água e por aditivos. No Brasil, o ensaio de consistência normal de pastas de cimento é controlado pela NBR NM 43 (2003), já a consistência do concreto pode ser determinada pelo ensaio de tronco de cone a partir da NBR NM 67 (ABNT,1998).

Sobral (2000) define em seu livro, Propriedades do Concreto Fresco, que diversas propriedades estão associadas a trabalhabilidade e consistência, e que essas são consequência, sobretudo, da escolha dos componentes do concreto: teor de água/mistura seca, tipo e finura do

cimento, granulometria da areia, o diâmetro e formato da brita, aditivos e umidade relativa do ar, bem como a temperatura (SOBRAL,2000).

Além disso, levar esses fatores em consideração são importantes para o êxito da moldagem, segundo o autor, uma mistura muito seca, pode gerar um adensamento inadequado, superfícies mal-acabadas e custos excessivos, de um outro modo, uma mistura muito úmida pode acarretar à segregação.

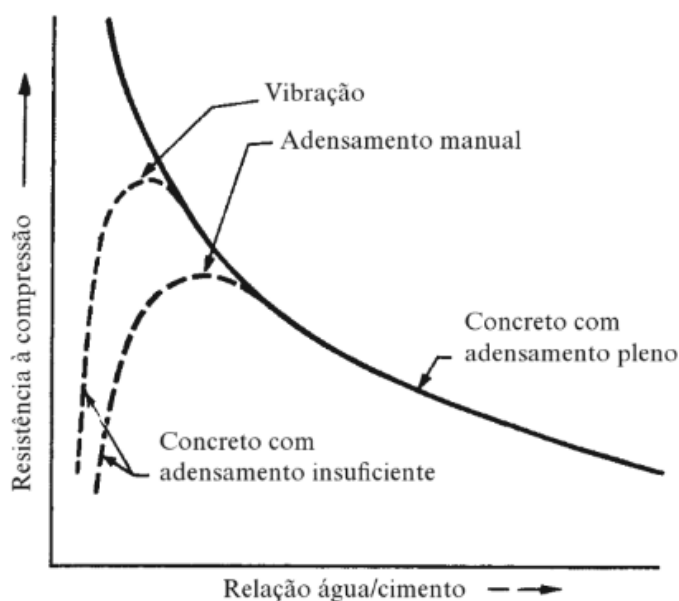
3.1.5.2 Adensamento

O adensamento diz respeito à capacidade no estado fresco do concreto de aderir e compactar na região em que é despejado, assim, essa propriedade é importante para garantir a saída do ar aprisionado e facilitar a estabilidade interna das partículas, assim, existem algumas medidas a serem tomadas, como o adensamento manual e o vibratório.

O adensamento manual é normalmente utilizado em obras pequenas, o vibratório, por sua vez, é feito por meio de equipamentos específicos, ademais, em ambos os casos o adensamento deve ser feito de forma cautelosa, uma vez que o excesso de vibração pode acarretar na segregação e exsudação (subida da água) da mistura, ainda mais quando a diferença entre a massa específica do agregado gráudo e a argamassa é elevada.

A Figura 5 aborda a relação da resistência à compressão com o fator água/cimento de concretos, trabalhando sob o aspecto do adensamento, percebe-se que para fatores de água/cimento baixo o adensamento tem grande contribuição na resistência, principalmente pela técnica vibratória.

Figura 5 - Comportamento da resistência em função do fato água/cimento



Fonte: MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.; 2014

3.1.5.3 Coesão

A coesão garante que os componentes do material se mantenham misturados, ou seja, que seus constituintes não se separem, permitindo a uniformidade do concreto, sendo uma propriedade avaliada, sobretudo, pelo aspecto visual (SOBRAL,2000).

Ademais, um concreto pode deixar de ser coeso pela vibração indevida do material, uma maneira de minimizar esse problema é reavaliar a dosagem, de forma a averiguar a quantidade de finos que está sendo usado, uma vez que a areia apresenta uma elevada capacidade de retenção da água.

Além de razões operacionais, o concreto pode carecer de coesão por motivos de erro no cálculo do traço, como, por exemplo, o uso de pouco agregado miúdo. Nessas situações, por meio de ensaios de Slump, é recorrente acontecer a separação da mistura líquida (água e material fino) e o agregado graúdo, o que elucida a ausência de uma coesão, ou seja, os constituintes não apresentam uma resistência para se manterem ligados e uniformes, situação em que exige o recalculado do traço.

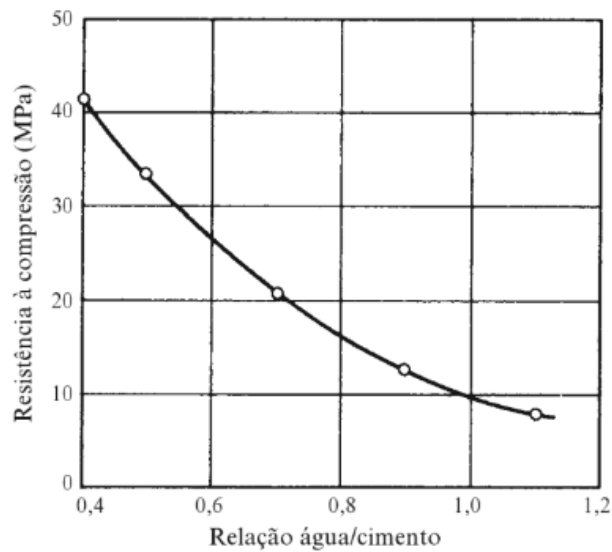
3.1.5.4 Resistência mecânica

No que diz respeito à resistência mecânica, o concreto é considerado um material frágil, ou seja, rompe de maneira abrupta a esforços de tração, não obstante, quanto aos esforços de compressão, esse resiste notavelmente muito bem, consequência da microestrutura da pasta de cimento hidratada, formada por cristais de silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio (portlandita) e sulfoaluminato de cálcio hidratado.

Segundo Neville (2016), a resistência do concreto em uma determinada idade depende principalmente de duas variáveis: da relação água/cimento e do grau de adensamento. A influência desses parâmetros se justifica pela relação direta desses dois com o índice de vazios do concreto, assim, a água remanescente, bem como o mal adensamento, provoca um aumento de vazios na estrutura, ocasionando perdas na resistência.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, a partir da variação do fator água-cimento, apresentam um comportamento similar ao de uma parábola, ou seja, inversamente proporcional, a Figura 6 ratifica essa ideia (NEVILLE, 2016).

Figura 6 - Resistência do concreto em função do fator água/cimento



Fonte NEVILLE, A. M. 2016

3.1.5.5 Permeabilidade

Segundo Mehtan e Monteiro (2014), permeabilidade é uma propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluído em um material sólido e associado a esse está a constante de permeabilidade, que depende de diversos fatores, como a viscosidade do fluído, gradiente de pressão, área da superfície e espessura do sólido.

No concreto endurecido, a permeabilidade desse é ditada sobretudo pelo tamanho e pela continuidade dos poros. Assim, a quantidade de água de amassamento a ser usada é um parâmetro de grande relevância quando se buscar estudar a permeabilidade, uma vez que essa influencia diretamente nos espaços não preenchidos depois de ser consumida pelas reações de hidratação, bem como pela ação da evaporação para o meio.

Além da relação água/cimento, outros fatores influenciam diretamente na permeabilidade, como a proporção de finos utilizado, que é uma ferramenta para reduzir os canais de fluxos com a ocupação dos espaços vazios, assim como as condições de cura do concreto.

No que diz respeito ao comportamento da permeabilidade ao longo do tempo, percebe-se que essa decai à medida que as reações de hidratação vão ocorrendo, isso se deve sobretudo ao fato de que com as formações dos cristais de silicato de cálcio hidratado, o número de canais de fluxo na pasta de cimento, por onde passa a água, diminui. A Tabela 1 comprova experimentalmente a redução da permeabilidade com a evolução da hidratação em uma pasta de cimento de fator água/cimento de 0,7 (MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.; 2014).

Tabela 1 - Comportamento da permeabilidade do concreto em função dos dias

Idade (dias)	Coefficiente de permeabilidade
Estado fresco	20000000
5	4000
6	1000
8	400
13	50
24	10
Final	6

Fonte: MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.; 2014

3.2 ADITIVOS PARA ARGAMASSAS E CONCRETOS

3.2.1 Aditivos Químicos

Segundo a NBR 11768 (2019), os aditivos para concretos podem ser entendidos como o produto a ser adicionado durante a preparação desses, em quantidades não superiores a 5% da massa do cimento com a finalidade de alterar suas propriedades no estado fresco e/ou, posteriormente, no estado endurecido. Dessa maneira, a partir do incremento do aditivo, visa-se o desenvolvimento de características que otimizam e tornam apto o uso do concreto em diferentes situações.

Essa mesma norma classifica os aditivos em vinte e uma formas, que são melhor descritos no Manual de Utilização de Aditivos Químicos Para Concreto (IBI, 2021), percebe-se de uma maneira geral que os aditivos químicos podem ser divididos em: controladores de pega, incorporadores de ar e redutores de água.

3.2.1.1 Controladores de tempo de pega

Os controladores de pega, como o próprio nome sugere, são utilizados para alterar o tempo de endurecimento dos materiais cimentícios conforme a situação planejada. A norma de aditivos químicos para concreto de cimento Portland classifica esse tipo de aditivo em Acelerador de pega (AP), Acelerador de pega para concreto projetado (APP) e Acelerador de resistência (AR), não obstante, sabe-se, também, da existência de aditivos que promovem o retardamento da pega.

Como supracitado, o tempo de pega diz respeito ao intervalo de tempo necessário para o endurecimento da pasta, diversas substâncias químicas podem funcionar como agentes de controle do tempo de pega, a depender da concentração utilizada, um mesmo aditivo pode funcionar como acelerador e retardador de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a ação desses aditivos é por meio de mecanismos de dissolução dos componentes do cimento, de forma em que, com o incremento do aditivo há uma mudança na concentração e no tipo dos constituintes iônicos da solução. Assim, pode-se dizer que aditivos aceleradores promovem a dissolução dos componentes catiônicos ou aniônicos do cimento e os aditivos retardadores impedem a dissolução desses. É esse controle na solução que garante as alterações nas velocidades da reação.

3.2.1.2 Incorporadores de ar

Segundo a NBR 11768-1, os aditivos incorporadores de ar são aqueles que incorporam, de maneira intencional, na fase fresca, quantidade controlada de microbolhas de ar separadas entre si. Esses aditivos são, maiormente, utilizados em países com estações bem definidas, na qual, o ciclo de gelo e degelo é algo presente, esse tem influência nas estruturas de concreto e nas argamassas, que acabam se deteriorando. Esse fato se explica pelo fato de a água com o congelamento ter um aumento de 9% do seu volume, esse incremento de volume possibilita a aparição de tensões internas causadas pela formação do gelo, bem como a de fissuras. Dessa maneira, o aditivo incorporador de ar atua de maneira em que os espaço vazios criados são preenchidos pelo volume excedente da dilatação (POWERS, 1958).

Ademais, como consequência da incorporação de ar na mistura, esse aditivo pode gerar uma melhor trabalhabilidade (a depender da função da argamassa/concreto) em vista do aumento da fluidez. Não obstante, se utilizado de maneira desregulada, o aditivo pode gerar um retardamento excessivo na hidratação do cimento, uma vez que tem impacto direto na hidrofobia das partículas de cimento, o que pode gerar redução da resistência.

No que concerne a estrutura química dos aditivos incorporadores de ar, percebe-se que esses apresentam uma cadeia hidrocarbônica apolar com um grupo polar na extremidade. Segundo Mehta e Monteiro (2014, p. 292), o mecanismo de ação desse aditivo funciona de maneira em que:

“Na interface ar-água os grupos polares estão orientados na direção da fase aquosa, reduzindo a tensão superficial, promovendo a formação de bolhas e neutralizando a tendência das bolhas dispersas de coalescerem. Na interface sólido-água, onde existem forças direcionadoras na superfície do cimento, os grupos polares ligam-se ao sólido mantendo os grupos apolares orientados para a fase aquosa, tornando a superfície do cimento hidrofóbica e assim o ar pode deslocar a água e permanecer ligado às partículas sólidas em forma de bolha.”

3.2.1.3 Redutores de água

Segundo a mesma norma supracitada, os aditivos redutores de água, também tidos como plastificantes, são aqueles que sem modificar a consistência do concreto, possibilitam a redução da quantidade de água, ou, até mesmo, sem modificar a quantidade de água, permitem alterar a consistência do concreto, aumentando a fluidez.

Há experimentos que demonstram que com a aplicação desse aditivo foi possível, mantendo a consistência constante, reduzir o consumo de água em 10%, o que proporcionou um ganho de resistência aos sete dias de 25MPa para 34MPa. Com esse aditivo, percebe-se, por exemplo, que elevadas resistências podem ser atingidas sem necessariamente aumentar a quantidade de cimento (MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.; 2014).

Na estrutura química dos redutores de água, ao contrário dos incorporadores de ar, o grupo polar está ligado a uma cadeia de hidrocarboneto também polar, essa característica não garante, com o contato da água, uma boa dispersão das partículas, em consequência da tensão superficial da água (MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.; 2014).

3.2.1.4 Pozolanas

As pozolanas são um tipo de aditivo reativo de origem mineral que podem ser provenientes de rochas vulcânicas, bem como de subprodutos, como cinzas da combustão de carvão e resíduos agrícolas. Esses materiais são geralmente silicosos ou silicoaluminosos, que, em contato com água, podem reagir com o hidróxido de cálcio para a formação de silicato de cálcio hidratado (CSH), que possui propriedades aglomerantes.

Além disso, as pozolanas têm um importante papel no refinamento do tamanho dos poros do concreto, de forma a aumentar sua impermeabilidade tornando-o menos vulnerável em ambientes agressivos, ademais, tem impacto positivo no ganho de resistência mecânica, em consequência da formação de CSH. Hodiernamente, a cinza da casca do arroz vem sendo usada como material pozolânico.

3.2.2 Aditivos Naturais

A aplicação de aditivos naturais em misturas não é algo recente. Historicamente, os romanos utilizavam clara de ovo, sangue de animal e outros ingredientes como otimizadores de suas misturas (ABESC, 2007). No que tange aos aditivos vegetais, uma prática secular no México, diz respeito a utilização da mucilagem (líquido da planta) da Palma Forrageira (*Opuntia fícus-indica*) em argamassas de cal como forma de garantir uma maior aderência do material ao substrato (CÁRDENAS; ARGUELLES; GOYCOOLEA, 1998).

Além disso, alguns estudos, como o de Souza, G. F. (2019), utilizam a mucilagem do cacto *Opuntia Ficus-Indica* como substituição parcial da água de amassamento em pastas e microconcretos de cimento Portland. A partir de diferentes teores do aditivo (0%, 10%, 20%, 40% e 100%), ele notou uma otimização da viscosidade das pastas no estado plástico, bem como da tensão de escoamento e da retenção de água. Já no que diz respeito ao estado endurecido, foi percebido que o aditivo líquido não teve grande impacto na porosidade dos microconcretos aos 28 dias, não obstante, quanto à resistência, o uso da mucilagem do cacto proporcionou um ganho de 17% em relação ao traço de referência. Ademais, ainda segundo ele, os ensaios de absorção de água por imersão e capilaridade não tiveram alterações significativas com as diferentes dosagens.

Além desse, Chandra *et al.* (1998) e Hernández-Zaragoza *et al.* (2008) verificaram melhorias na trabalhabilidade, resistência à flexão e compressão em argamassas com aditivos à base de cacto, bem como efeito retardador de pega.

Já no gesso, Monteiro (2015) também percebeu que a incorporação da mucilagem da Palma Forrageira tem uma influência direta nas propriedades desse material, seja na determinação do tempo de início e fim de pega, bem como na absorção de água por capilaridade. Magalhães e Almeida (2009) certificaram que a quantidade de aditivo utilizado tinha influência direta nas características do gesso, além disso, a adição da mucilagem possibilitou a redução no consumo de água, assim como menores taxas de absorção de água e maiores resistências à flexão em pastas de gesso.

Além da aplicação na construção civil, os aditivos à base de cacto também podem ser usados em outros contextos, como auxiliares nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. Zara, Thomazini e Lenz (2012) utilizaram um polímero natural extraído do cacto Mandacaru como auxiliador do sulfato de alumínio, e observaram um melhor desempenho na remoção de turbidez se comparado ao uso de somente o sal, ademais, a velocidade de decantação do sistema foi aumentada e o pH do sistema se manteve estável. Dessa forma, nota-se que aditivos à base de cacto apresentam um considerável destaque em diversas esferas industriais.

3.3 CACTO *CEREUS JAMACARU*

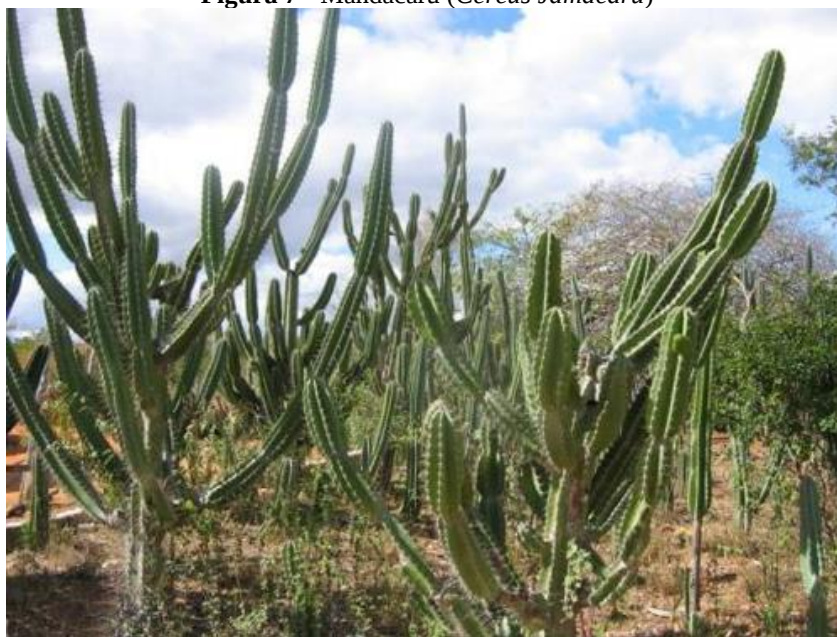
Ainda no que concerne ao uso de aditivos com origem vegetal, a utilização da espécie de cacto *Cereus Jamacaru* como aditivo para argamassas e concretos é algo que ainda não foi explorada. Esse cacto, também conhecido como Mandacaru, Cardeiro e Jamacaru, é uma planta nativa da caatinga brasileira, apesar de ser encontrada até Santa Catarina. Além disso, possui

grande adaptação fisiológica, cresce em solos pobres e pedregosos (LEAL SALES; MARTINS; SOUZA; MEIRELES DE DEUS; PERON, 2014), pode atingir até dez metros de altura, apresenta tronco lenhoso que pode chegar a sessenta centímetros de diâmetro, isso é um dos motivos pelo qual essa planta é bastante explorada na construção civil para a confecção de tábuas. Ademais, em tempos de seca na região semiárida, são queimados os espinhos para que a planta seja utilizada como alimento para o gado, em razão da sua grande capacidade de armazenar água (ZARA; THOMAZINI; LENZ *et al.*, 2012).

Além da alimentação bovina, a *Cereus Jamacaru* apresenta também, apesar de pouco divulgado, uma importância medicinal, o uso de suas raízes e caule tem ação diurética e benéfica ao coração, tem poder de tratar doenças como a sífilis, diabetes, cálculos vesiculares, problemas uretrais, possui ação vasodilatadora, e tem influência na liberação de norepinefrina em terminações nervosas. Há ainda estudos que indicam que os polímeros extraídos desse cacto possuem aplicação viável como auxiliares em processos de coagulação e floculação da água (ZARA; THOMAZINI; LENZ *et al.*, 2012).

O mandacaru (Figura 7) é uma planta da família das *Cactaceae*, tem mais de 125 gêneros, e por volta de 2000 espécies, apresenta uma grande facilidade de viver em lugares secos em vista de suas adaptações, possui grande facilidade em captação e retenção de água, apresenta raízes profundas que conseguem captar água do lençol freático e seu tronco é protegido por uma película grossa que impede a perda de água. Além disso, suas folhas dão lugar a espinhos que impedem a predação (NETO, 2018).

Figura 7 - Mandacaru (*Cereus Jamacaru*)



Fonte: Evandro Marques – www.coisasdaroca.com

4 METODOLOGIA

4.1 COLETA DO CACTO

Para pesquisa, foi utilizado o cacto *Cereus Jamacaru* (Mandacaru). A planta foi coletada, para produção do aditivo, no bairro do Castelo Branco em João Pessoa (Figura 8) em regiões próximas da Universidade Federal da Paraíba, que se insere na mesorregião da Mata Paraibana, clima típico litorâneo quente e úmido. A vegetação é proveniente de um plantio doméstico feito por moradores locais. Ademais, utilizou-se para coleta um facão. Quanto ao critério de seleção, foi usado o visual, de forma que os espécimes fossem inteiriços e saudáveis.

Figura 8 - Coleta da Mandacaru (*Cereus Jamacaru*)



Fonte: Adaptado de Google Imagens

4.2 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM

No que diz respeito à extração da mucilagem (líquido da planta), sabe-se da literatura a ocorrência majoritária de dois métodos: cocção e congelamento. Vale ressaltar que a mucilagem extraída é utilizada, em um processo posterior, para a produção do aditivo em pó.

O método de cocção foi o método utilizado no presente trabalho, que também foi aplicado por León-Martínez, Mendez-Lagunas e Rodriguez-Ramirez (2010) para outros tipos de cacto. De maneira semelhante ao do congelamento, o método da cocção se inicia com o tratamento do cacto, que foi feito, assim como as outras etapas, no laboratório LAPAMA, no Centro de Tecnologia da UFPB. Posteriormente, as partes tratadas foram trituradas em um moinho de facas, o objetivo foi aumentar a superfície de contato das partes, que foram levadas a um recipiente com água destilada e quente na proporção de 1:3 da massa do cacto, de forma a garantir o seu cozimento. Por fim, com a ajuda de panos, prensa mecânica e recipientes, a

mistura foi separada em partes sólidas e líquidas (mucilagem), sendo esta última a parte aproveitada. A Figura 9 apresenta bem esse processo.

Figura 9 - Extração da Mucilagem da Mandacaru



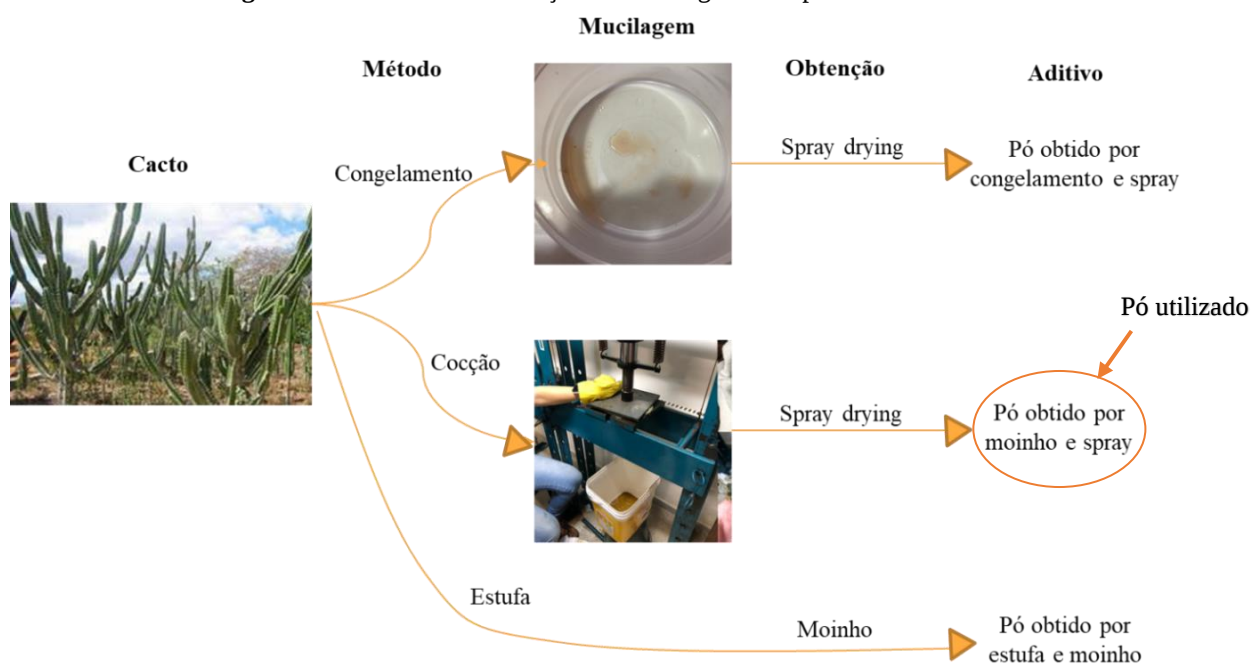
Quanto ao rendimento desse método, com a coleta de 21,695 kg de cacto foi possível obter um total de 11 litros de mucilagem, utilizando-se cerca de 5 litros de água. Dessa forma, o rendimento de mucilagem foi de 0,5 litros por quilograma de Mandacaru.

4.3 PRODUÇÃO DO ADITIVO EM PÓ

A grande parte dos trabalhos encontrados busca entender o comportamento da mucilagem (líquido) frente aos materiais cimentícios. Dessa maneira, nesses estudos, a cadeia de produção do aditivo se encerra na obtenção da mucilagem. Por outro lado, pelo fato de o líquido extraído do cacto ser bastante perecível, surge a necessidade de criação de alternativas. Nesse sentido, alguns autores procuraram entender os efeitos do aditivo na forma de pó a partir da técnica de estufa e moinho.

No presente trabalho, a técnica utilizada para obtenção do pó foi a de *spray drying*, ainda pouco explorado na literatura. O esquema da Figura 10 mostra os caminhos possíveis para a obtenção do aditivo em pó.

Figura 10 – Métodos de obtenção da Mucilagem e do pó da Mandacaru



4.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (SPRAY DRYING)

A técnica de *spray drying* é bastante usada na indústria alimentícia e de medicamentos fitoterápicos, que utiliza extratos de origem vegetal como matéria-prima ativa. Essa técnica, também conhecida como secagem por aspersão ou por nebulização, tem sido eficiente na obtenção de componentes secos, e é tida como uma grande responsável por melhorias das características tecnológicas do produto final, bem como de uma maior concentração dos constituintes com atividade biológica.

Segundo Souza, Fernandes, Tralli, Galvão e Pedro (2013), esse método foi inicialmente usado em meados do século dezoito para a secagem de ovos. Seu uso em escala industrial só foi possível no século vinte com a otimização da tecnologia para a secagem do leite e do sabão. Ainda segundo eles, a técnica de aspersão apresenta a vantagem de obter os produtos finais do processo já na forma de pó, o que possibilita a eliminação de etapas onerosas e pouco eficientes, como é o caso da moagem, que demanda o uso de outros equipamentos.

Para que a secagem por aspersão seja realizada é necessário o uso do aparelho *spray dryer* (spray secador). O processo é automatizado, sendo necessários apenas parâmetros de entrada. O processo de secagem por nebulização consiste em pulverizar a solução líquida do experimento, que apresenta pequenas partículas sólidas, em uma corrente de ar quente controlada, de forma em que, quando as pequenas gotículas do líquido entram em contato com o ar quente ocorre a evaporação da água, existindo uma separação extremamente rápida dos

componentes do material inicial e tendo como resultado final a concentração do pó. Vale destacar, ainda, que tais parâmetros de entrada, bem como tamanho do bico, layout da câmara e condições de temperatura, são de suma importância para as especificidades do pó. O equipamento utilizado, apresentado na Figura 11, foi o *Spray Dryer* da Labmaq modelo LM SD 5.0. Na produção do aditivo, foi usada uma vazão da bomba peristáltica de 3 L/h, a do soprador de 2,9 m³/s e uma temperatura de entrada de 150°C.

Figura 11 - Spray Drying



Fonte: LabMaq

4.5 ANÁLISES QUÍMICAS

O desenvolvimento de novos materiais, principalmente os atrelados à adição em compostos reativos, exige sobretudo um domínio da formação química, ainda mais quando o objetivo da adição é alterar o andamento das reações. Nesse sentido, as análises químicas apresentam uma fundamental importância quando se objetiva estudar o comportamento das misturas frente ao uso de aditivos e isso se torna possível pelo avanço da tecnologia e do desenvolvimento de técnicas de caracterização da microestrutura dos materiais. No presente trabalho, foi analisado quimicamente o pó obtido pela técnica de *spray drying* no método de cocção.

4.5.1 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX)

Inicialmente, a técnica de espectroscopia de fluorescência de raios X foi utilizada com o intuito de tomar conhecimento da formação química do aditivo à base de cacto. A partir dela foi possível fazer uma análise qualitativa, identificando o predomínio de determinados elementos químicos através dos raios X característicos $K\alpha$, $K\beta$ dos elementos que estão presentes na amostra de pó. Além disso, com essa mesma técnica foi feita uma análise quantitativa do pó, que permitiu perceber o predomínio de determinados compostos.

O ensaio de fluorescência de raios X (FRX) para a amostra de pó obtida pela técnica de *spray drying*, por meio do método de cocção, foi realizado, em atmosfera à vácuo, no instrumento EDX-720 de marca SHIMADZU na unidade acadêmica de engenharia de materiais da UFCG.

4.5.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A análise da espectroscopia na região de infravermelho engloba técnicas de grande relevância na caracterização das microestruturas, a partir da investigação dos compostos em escala micro, o diagnóstico do comportamento do material em escala macro se torna mais preciso. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é adotada maiormente na investigação dos grupos funcionais de um composto e na proposição de uma possível estrutura para a amostra analisada.

Dessa forma, essa técnica foi utilizada com o intuito de tomar conhecimento, a partir dos diferentes espectros de absorção de infravermelho obtidos no ensaio, da existência de grupos funcionais diversos no pó à base de Mandacaru, obtido pelo método de cocção. O experimento foi realizado no espectrômetro da SHIMADZU modelo IRAffinity-1 com resolução $0,4\text{ cm}^{-1}$.

4.5.3 Análise Térmica (TGA e DTAG)

A temperatura sempre foi objeto de estudo de grande relevância na análise das microestruturas. A obtenção de informações a respeito das temperaturas de operação de determinados materiais é de enorme valor, sobretudo no estabelecimento de limites que garantam a sua integridade, bem como evitar perdas de composição e massa indesejadas. No que tange às reações exotérmicas de hidratação do cimento Portland, é de grande importância, quando se visa estudar a influência de aditivos, tomar conhecimento do comportamento da massa desses frente à variação de temperatura.

Esse ensaio consiste no monitoramento da variação de massa do material em função da temperatura em uma atmosfera controlada, e pode ser utilizada para o controle da qualidade sobretudo quando se visa desenvolver novos materiais. No presente trabalho, a análise térmica foi realizada pelo equipamento DTG-60H da marca SHIMADZU, sendo que o intervalo de variação de temperatura do ensaio foi de 25°C a 800°C com razão de aquecimento $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e vazão $30\text{ mL}/\text{min}$.

4.6 ENSAIOS FÍSICOS NO ESTADO FRESCO

Para a realização dos ensaios foram considerados quatorzes traços para a investigação da influência do aditivo orgânico nas pastas e argamassas de cimento Portland. A referência (chamada de R) diz respeito à mistura sem adição e foi utilizada como traço de controle. Os outros treze traços foram nomeados conforme a sequência do alfabeto, sendo o A o menor percentual de adição (0,0125%) e o M o maior percentual de adição (2%). A Tabela 2 mostra os traços com base na sua nomenclatura e no seu percentual de adição em massa de cimento Portland utilizada na mistura.

Tabela 2 - Percentuais de adição utilizados

R	A	B	C	D	E	F
0%	0,0125%	0,025%	0,05%	0,1%	0,2%	0,4%

G	H	I	J	K	L	M
0,5%	0,6%	0,8%	1,0%	1,2%	1,5%	2,0%

4.6.1 Ensaio de consistência

A consistência da pasta está intimamente relacionada ao seu teor de umidade. Nesse sentido, o ensaio de consistência da pasta de cimento foi realizado unicamente para verificar a quantidade de água ideal a ser utilizada nos traços dos ensaios subsequentes, bem como determinar a consistência ideal, conforme os critérios normativos. Para isso utilizou-se um misturador para a produção das pastas, espátulas, molde, aparelho de Vicat e sonda de Tetmajer. Dessa maneira, determinou-se que a relação água-cimento foi de 0,4.

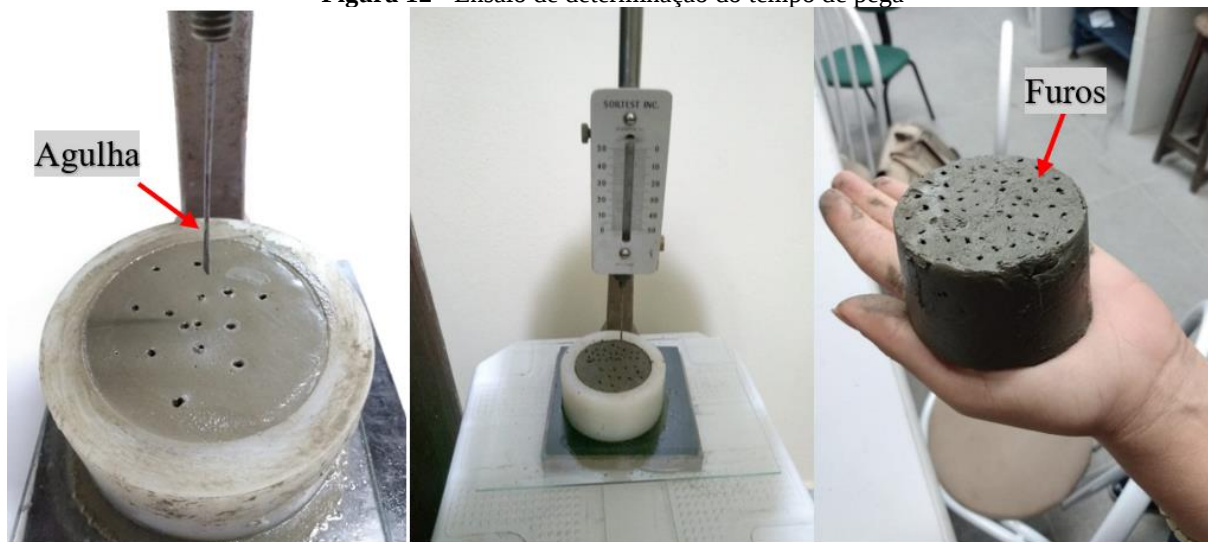
4.6.2 Ensaio de determinação do tempo de pega

O dispositivo utilizado para a determinação do tempo de pega em ensaios de resistência a penetração é o aparelho de Vicat, porém, diferentemente do ensaio de consistência (sonda de Tetmajer), o de pega utiliza uma agulha móvel, que penetra continuamente na mistura. A partir de uma convenção normativa, o início do tempo de pega é determinado quando essa agulha penetra uma distância de 6 ± 2 mm da base do molde com a pasta. O fim da pega, por outro lado, acontece quando a agulha consegue penetrar apenas 0,5 mm na pasta, conforme a NBR 16607 (ABNT, 2018). Nesse experimento para cada traço foram utilizados 300g de cimento e 120g de água, além da massa do aditivo.

Os ensaios de determinação do tempo de pega são de suma importância quando se visa estudar aditivos e a sua influência na velocidade de enrijecimento das pastas, segundo a ABNT

NBR NM 9, para que um aditivo seja considerado retardador o início de pega deve ser maior do que 90 minutos e menor que 360 minutos, quanto ao acelerador de pega o aditivo deve promover um início de pega em menos de 30 minutos. A Figura 12 mostra a realização do ensaio.

Figura 12 - Ensaio de determinação do tempo de pega

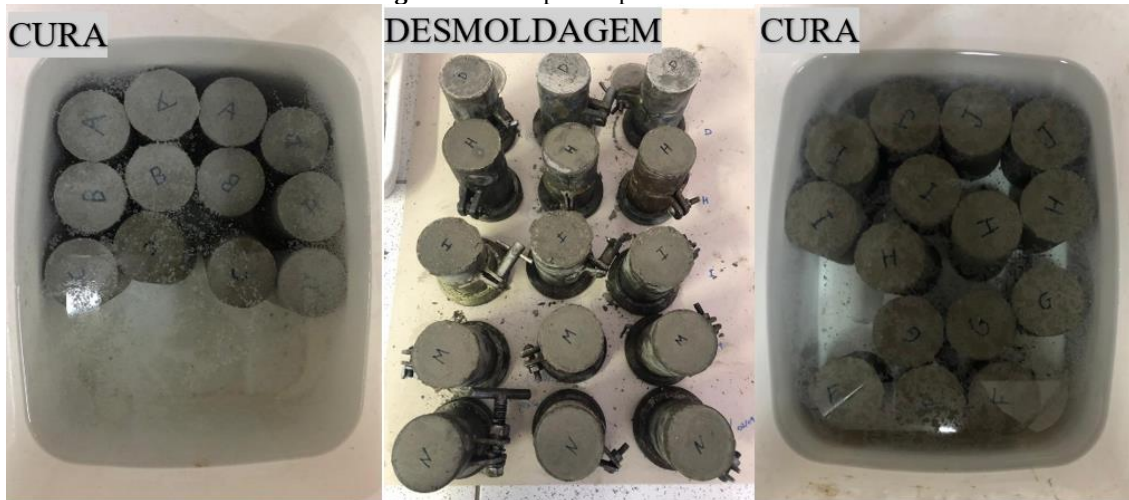


4.7 ENSAIOS FÍSICOS NO ESTADO ENDURECIDO

A moldagem e os ensaios ocorreram no Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos (LMPC) e no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). As misturas foram produzidas com o traço de proporção 1:3:0,5 em massa com ou sem adição do pó. Para isso, seguiu-se os procedimentos conforme prevê a NBR 7215 (ABNT, 1996). Para cada traço, misturou-se de forma mecânica com o auxílio de uma argamassadeira, em seguida, essas foram moldadas utilizando corpos de prova cilíndrico, medindo 100mm de altura e diâmetro de 50mm (NBR 7215, ABNT; 1996).

A cura é o processo de submissão ao ganho de resistência a partir do contato dos corpos cimentícios com a água. No caso dos corpos de prova, é feita com sua imersão em água, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Assim, após a produção das argamassas e do seu contato com o ar por um período de 24 horas dentro dos moldes, essas foram desmoldadas e imersas em água até as idades de 28 dias para os ensaios, conforme mostra a Figura 13.

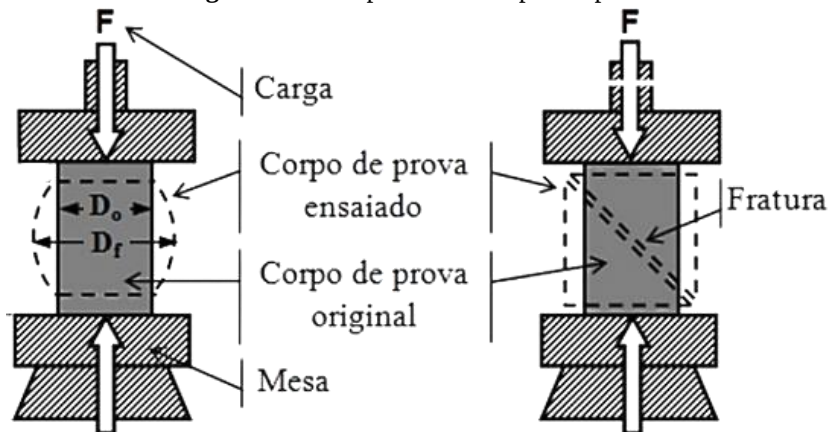
Figura 13 - Corpos de prova em cura



4.7.1 Ensaio de resistência à compressão

No Brasil, duas normas em especial ditam os ensaios de compressão, são elas: NBR 7215 (ABNT, 1996) e NBR 5739 (ABNT, 2018). Para esse ensaio, foram produzidos dois corpos de prova para cada traço. Dessa forma, com o auxílio de uma prensa mecânica manual, foram rompidos vinte e oito corpos de prova. O ensaio é ilustrado na Figura 14, em que o corpo de prova é comprimido com uma força axial até que se rompa.

Figura 14 - Compressão de corpos de prova



Fonte: Biopdi.com

4.7.2 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem o objetivo de averiguar a capacidade de absorção da água pelos corpos de prova. Assim, esse é influenciado pela forma como os poros estão conectados.

Subsequentemente à etapa de cura, os corpos de prova foram levados à estufa, em uma temperatura de 100°C, durante um período de 24 horas para eliminação da água residual. Após

esse processo, um dessecador foi utilizado para reduzir e normalizar a temperatura dos corpos de prova, esse ensaio foi regido pela NBR 9779 (ABNT, 1995).

Em um segundo momento, os corpos de prova foram imersos e, com um auxílio de fios, foram dispostos sobre a água a uma altura de 0,5 centímetros da base inferior, de forma em que somente essa região estivesse em contato com o líquido. A partir desse estado, foram medidas as massas dos corpos de prova antes do contato com a água e depois do contato em intervalos de tempo de 3, 6, 24, 48 e 72 horas com o objetivo de determinar a absorção de água por capilaridade a partir da diferença da massa inicial e final. Na Figura 15 são apresentados os quatorze corpos de prova utilizados no ensaio.

Figura 15 - Ensaio de absorção por capilaridade



Com o fim das 72 horas de experimento, e a partir de uma prensa mecânica, fita adesiva e palitos de madeira, os corpos de prova foram rompidos de forma longitudinal e de maneira em que fosse possível medir, com o auxílio de um paquímetro, as alturas de ascensão de água. Por fim, vale destacar que para esse ensaio, utilizou-se de um único corpo de prova para cada traço. A Figura 16 mostra os corpos de prova rompidos.

Figura 16 - Ruptura longitudinal dos corpos de prova



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADITIVO ORGÂNICO

5.1.1 Fluorescência de Raios X (FRX)

O ensaio de espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) faz uma análise quantitativa e qualitativa dos componentes do material, assim, a qualitativa indicou, para o pó obtido por cocção, a presença de diversos elementos. Entre os elementos com número atômico maior que doze, percebe-se a presença de magnésio, potássio, enxofre, ródio, zinco, cálcio, rubídio, estrôncio, fósforo, bromo, manganês, ferro, cobre, térbio e silício. Essa grande variedade de elementos se deve, sobretudo, pela forma como a mucilagem foi obtida, que se deu através da moagem completa do cacto, utilizando-se, dessa forma, diversos tecidos vegetais e componentes da planta, diferentemente de outros métodos como o de congelamento. A Tabela 3 apresenta os elementos obtidos no ensaio.

Tabela 3 - FRX (Análise qualitativa do aditivo)

Mg	Magnésio	Mn	Manganês
Ca	Cálcio	K	Potássio
Cu	Cobre	Rh	Ródio
S	Enxofre	Rb	Rubídio
Sr	Estrôncio	Si	Silício
Fe	Ferro	Tb	Térbio
P	Fósforo	Zn	Zinco

No que tange à análise quantitativa de espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX), o ensaio registrou diversos óxidos, entre eles o óxido de cálcio, que teve o maior predomínio, que foi de 43,3%. Outros óxidos também foram detectados no ensaio como o óxido de potássio

(K₂O), óxido de magnésio (MgO) e o pentóxido de difósforo (P₂O₅). A Tabela 4 a seguir apresenta os percentuais dos óxidos encontrados.

Tabela 4 - FRX (Análise qualitativa do aditivo à base de Mandacaru)

Componente	Presença
CaO	43,29%
K ₂ O	25,02%
MgO	19,22%
P ₂ O ₅	6,31%
Fe ₂ O ₃	2,76%
SO ₃	1,81%
SiO ₂	0,97%

No que diz respeito a outros estudos que também caracterizam o aditivo orgânico por meio da espectroscopia de fluorescência de raios X, não foram encontrados trabalhos com o cacto da Mandacaru. Não obstante, no estudo de Monteiro (2015), a partir do desenvolvimento de aditivo plastificante e retardador de pega para gesso com a mucilagem da Palma Forrageira, ela comparou os ensaios de FRX de uma amostra de gesso referência com uma outra amostra com adição de 3% do aditivo orgânico, conforme mostram a Tabela 5 e 6.

Tabela 5 - Amostra referência (0% de adição)

Componente	Presença
SO ₃	57,40%
CaO	41,33%
SiO ₂	0,69%
SrO	0,19%
Al ₂ O ₃	0,16%
Fe ₂ O ₃	0,15%
K ₂ O	0,03%
MnO	0,01%

Fonte: Monteiro, 2015.

Tabela 6 - Amostra aditivada (3% de adição)

Componente	Presença
SO ₃	56,90%
CaO	41,36%
SiO ₂	0,95%
SrO	0,19%
Al ₂ O ₃	0,26%
Fe ₂ O ₃	0,20%
K ₂ O	0,04%
MnO	0,01%

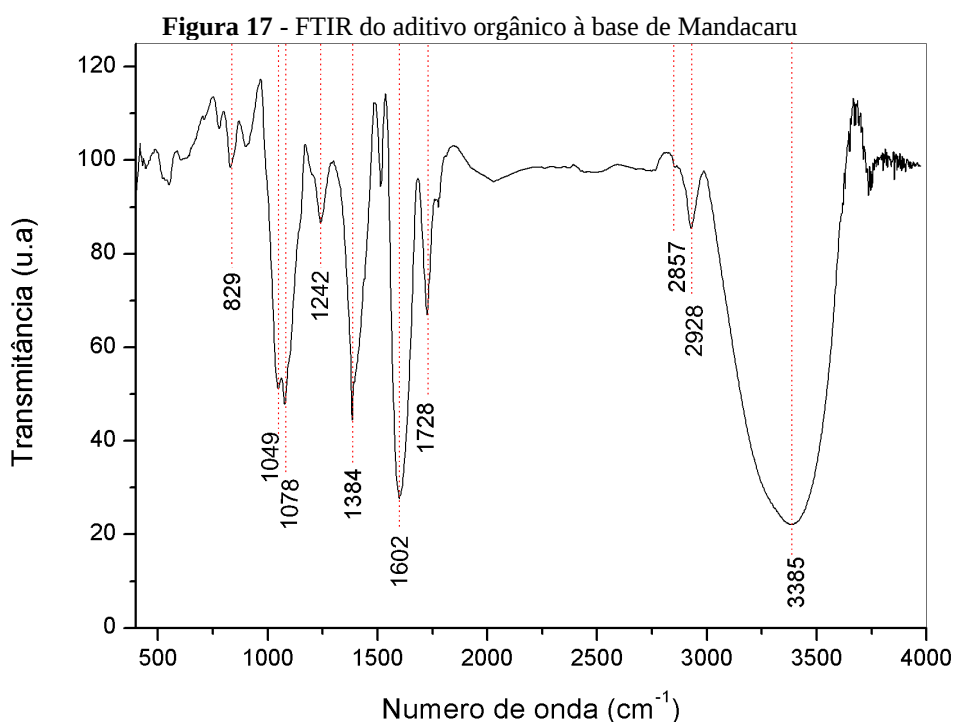
Fonte: Monteiro, 2015.

Assim, percebe-se com os dados obtidos por Monteiro (2015) um pequeno aumento nos percentuais de óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO₂), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de alumínio (Al₂O₃) em virtude do incremento do aditivo orgânico à base de Palma Forrageira.

Vale destacar, ainda, que apesar dos diferentes métodos de obtenção do aditivo e dos tipos de planta utilizados nas pesquisas, alguns óxidos encontrados por Monteiro (2015), como o CaO, SiO₂, K₂O e Fe₂O₃, também estão presentes no aditivo orgânico à base de Mandacaru utilizado no presente trabalho (Tabela 4), por mais que em concentrações bastante discrepantes entre os aditivos.

5.1.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio de FTIR analisa os diferentes espectros de absorção de infravermelho do material, no aditivo orgânico à base de Mandacaru. Em especial, foi observado a existência de grupos funcionais diversos. Zanella (2013) defende a ideia de que a variação da intensidade de pico de absorção no FTIR é consequência sobretudo de pequenas diferenças na estrutura e na composição das moléculas do material. O resultado desse ensaio é apresentado no gráfico da Figura 17, que mostra a transmitância e seus respectivos números de onda.



De início, percebe-se o registro de uma banda de grande intensidade em 3385 cm⁻¹, essa também foi encontrada por Fracasso (2015) em estudos com a modificação da pectina cítrica e por Asevedo (2018) na casca do cajá. Eles defendem a ideia de que isso é característica da

existência de estiramentos de OH na amostra analisada. Ademais, diversos podem ser os motivos para a alta intensidade nessa banda, seja por humidade, vibrações de O-H indicando grupos de hidroxila livres, ou como bandas O-H ligadas ao ácido carboxílico (RESENDE, 2021) (FRACASSO, 2015). Essa condição ratifica a capacidade higroscópica do pó, bem como a afinidade com grupos polares, o que pode contribuir para mecanismos de adsorção da água aos grãos de cimento e para mudanças na velocidade de hidratação.

No que diz respeito às bandas observadas entre 1600-1630 (cm^{-1}), segundo Sousa *et al.* (2015), no estudo da pectina do melão caipira, esse comportamento é causado pela aparição de grupos carboxílicos livres (-COOH). Por sua vez, nas bandas entre 1730-1760 cm^{-1} , os picos são consequência de estiramento C=O, que representa grupos carboxílicos esterificados (-COOCH₃) (SOUSA *et al.*; 2015) (ZANELLA, 2013). Dessa maneira, pode-se concluir, a partir da comparação desses dois valores, que a maior intensidade na faixa de 1600 cm^{-1} em relação à de 1730 cm^{-1} indica um predomínio de grupos carboxílicos livres em detrimento dos esterificados do aditivo.

Segundo Liang *et al.* (2011), que estudou a semente do figo, e Fracasso (2015), as bandas relatadas entre 1000-1200 cm^{-1} correspondem a uma possível estrutura cíclica devido à vibração de ligações C-C, bem como a existência de ligações éter R-O-R. Ademais, ainda segundo eles, a faixa de absorbância entre 2800-3000 cm^{-1} é caracterizada pela existência de alongamentos de C-H.

A Tabela 7 apresenta o intervalo de número de onda encontrado em diversos estudos, bem como suas atribuições funcionais e os valores dos espectros associados às respectivas funções encontradas no aditivo orgânico utilizado no presente trabalho.

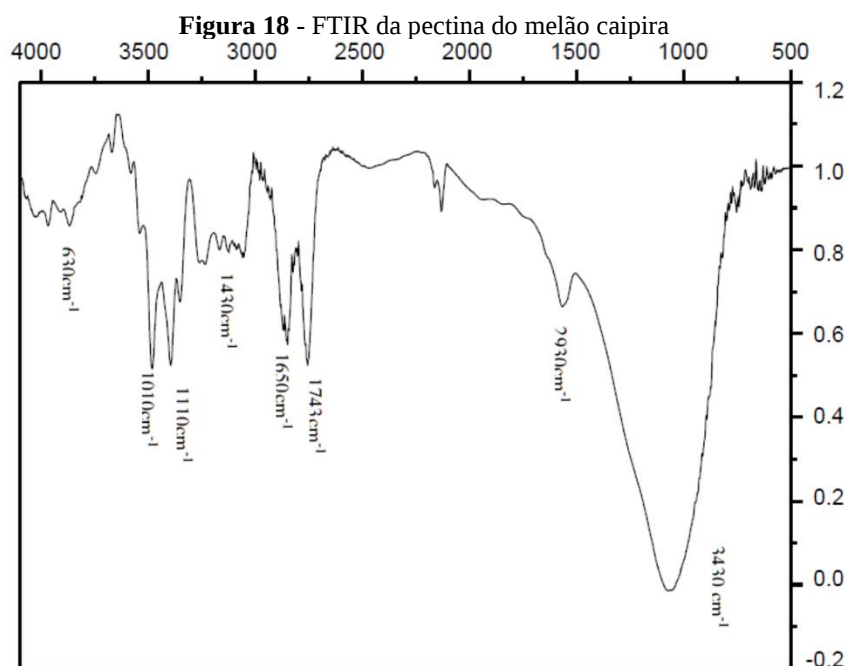
Tabela 7 - Comparação das bandas

Nº de onda na literatura (cm^{-1})	Grupo funcional	Nº de onda no presente trabalho (cm^{-1})
1600-1630	carboxílicos livres (-COOH)	1602
1730-1760	carboxílicos esterificados (-COOCH ₃)	1728
3300-3500	estiramentos de OH	3385
2800-3000	alongamentos de C-H	2857; 2928
1000-1200	ligações éter R-O-R	1242

Ademais, os dados obtidos por Sousa *et al.* (2017) nos ensaios de FTIR da pectina do melão caipira apresentam grande similaridade aos dados obtidos para o aditivo orgânico no

presente trabalho. Assim, segundo ele, as bandas encontradas em 829 e 1242 cm^{-1} representam estiramentos de vibrações de uma ligação C-O-S e S=O, respectivamente.

Por fim, vale destacar, não só o trabalho de Sousa *et al.* (2017), mas também diversos estudos da pectina que analisavam a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) apresentaram grande semelhança de forma, como mostra a Figura 18, que representa a pectina de abóboras.



Fonte: Souza *et al.*; 2009.

Assim, esse fato indica a grande possibilidade de o aditivo orgânico ter em sua constituição o polissacarídeo pectina, que é encontrado principalmente na parede celular das plantas. A Tabela 8 indica os estudos de grande similaridade encontrados na literatura e que ratificam essa ideia. Esses foram utilizados como base para a determinação dos grupos funcionais do aditivo orgânico à base de cacto Mandacaru.

Tabela 8 - Resultados do FTIR similares ao do aditivo orgânico

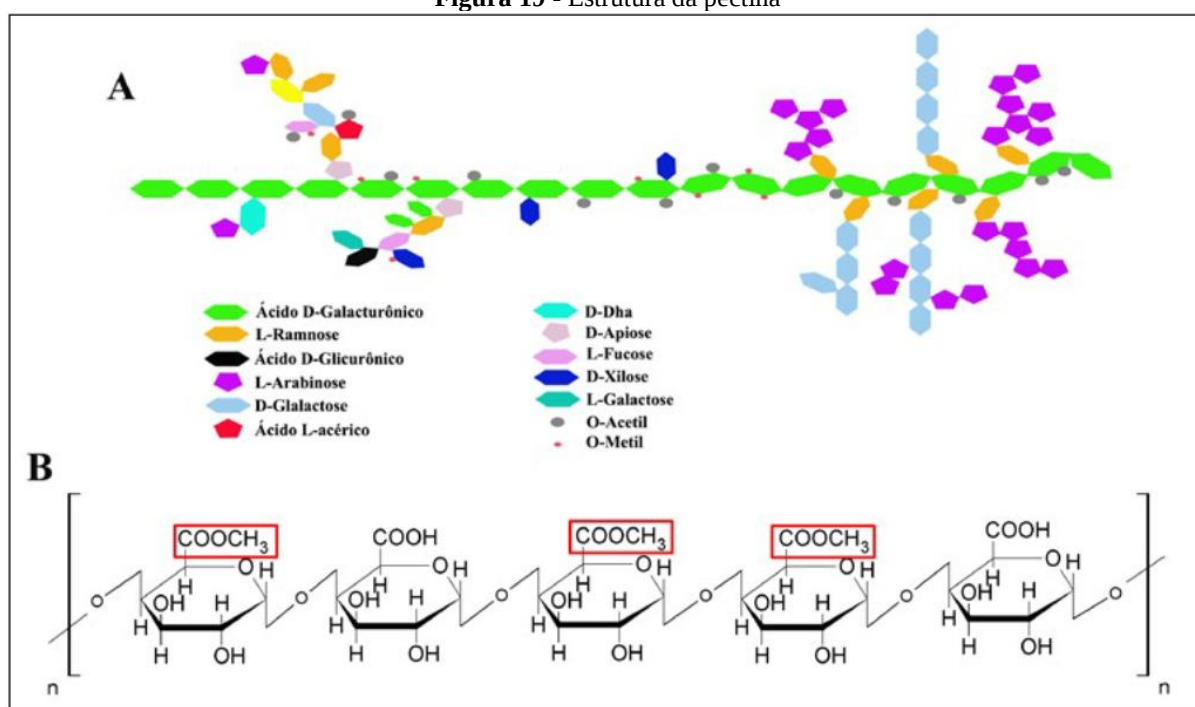
Autor	Estudo encontrado	Ano
Aline Francielle Fracasso	Modificação química de pectina cítrica	2015
José R. R. Souza, Nágila M. P. S Ricardo, Edy S. Brito, Regina C. M. de Paula, Judith P. A. Feitosa	Isolamento de pectina de abóbora	2009
Karine Zanella	Pectina da casca da laranja-pera	2013
Estéfani alves asevedo	Pectina extraída da casca do cajá	2018
André Luiz Nascimento de Sousa	Pectina do melão caipira	2015
Rui-hong Liang, Jun Chen, Wei Liu, Cheng-mei Liu*, Wen Yu, Min Yuan, Xiao-qing Zhou	Extração da pectina da semente do figo	2012

5.1.2.1 Pectina

Segundo Santi e Berger (2014) a pectina é um polissacarídeo encontrado na parede celular das células vegetais. Essa é usada frequentemente na indústria de alimentos, bebidas e fármacos sobretudo em razão de suas propriedades geleificante e estabilizante, bem como é usada para conferir firmeza, retenção de sabor e aroma (PAIVA, 2009).

No que diz respeito à sua estrutura molecular, sabe-se que a pectina se trata de um homopolímero de ácido galacturônico com grau variável de grupos carboxilas metil esterificados (CANTERI, 2012), grupo funcional percebido no ensaio de FTIR nas bandas entre $1730-1760\text{ cm}^{-1}$ do pó do cacto de Mandacaru. A sua estrutura molecular é apresentada na Figura 19, assim, percebe-se a existência de uma cadeia principal e de cadeias laterais com diferentes grupos funcionais, também apontados no ensaio de FTIR, como $-\text{OH}$, $-\text{COOCH}_3$ e R-O-R . Esses grupos possibilitam a interação com cátions e ânions na mistura água-cimento e que podem interferir diretamente no processo de hidratação.

Figura 19 - Estrutura da pectina

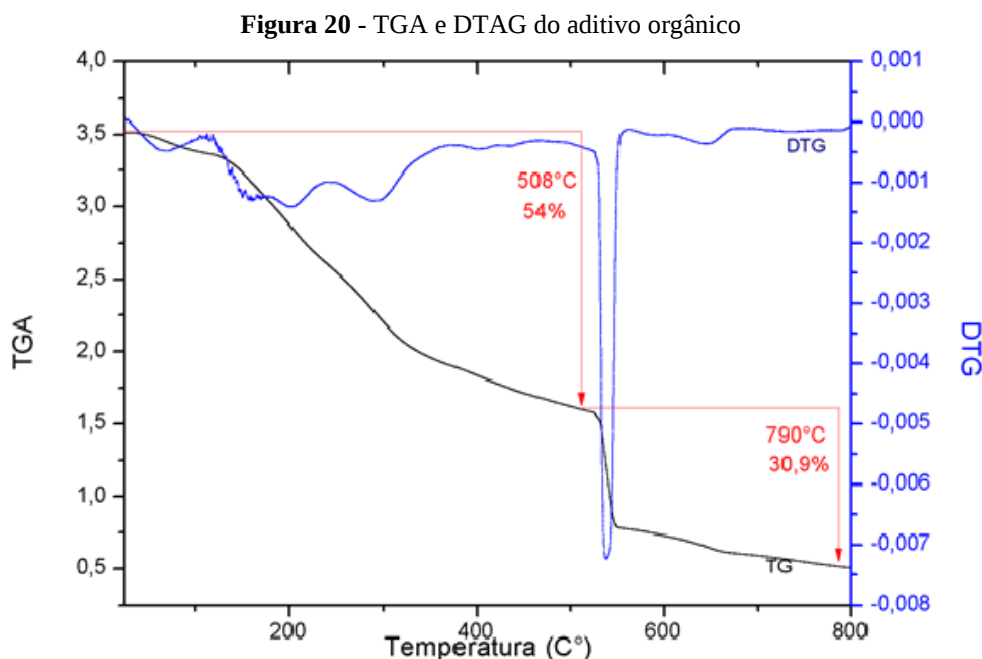


Fonte: Santi e Berger; 2012.

5.1.3 Análise Térmica (TGA e DTAG)

A análise térmica busca entender o comportamento de degradação de um material com a alteração de sua temperatura. Assim, são registradas as massas à medida em que se aumenta a temperatura do sistema. Essa análise é importante visto que a hidratação do cimento é um

processo exotérmico, caracterizado pela liberação de calor. A Figura 20 apresenta o comportamento do aditivo frente à mudança de temperatura.



Observa-se, conforme a Figura 20, que o processo de degradação do pó com a temperatura pode ser dividido em duas grandes etapas, uma inicial entre, aproximadamente, 0°C e 508°C que acarretou em uma perda de 54% da massa da amostra. E outra, em um segundo momento, entre 508°C e 790°C, que representou uma perda 30,9% da massa.

Em estudos de decomposição do bambu, Costa *et al.* (2004) atrelou as perdas de massa iniciais (entre 25°C e 120°C) à liberação de água do material, e entre 120°C a 400°C, uma perda de massa que diz respeito à decomposição térmica do bambu. Kaloustian *et al.* (2000), por sua vez, a partir do estudo da decomposição de biopolímero de lavanda, apontou que as perdas de massa por volta de 300°C diz respeito à decomposição característica de material orgânico, como componentes associados à biomassa e à celulose, também nessa temperatura, ocorre a oxidação de produtos voláteis como álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos.

Na segunda etapa do decaimento da massa, a partir da espectroscopia de infravermelho realizado em amostras de celulose, Kaloustian *et al.* (2000) também percebeu que o pico de perda de massa, em torno de 480°C, diz respeito à combustão dos compostos de carbono formados na primeira etapa do ensaio. Por fim, se tratando da massa residual, sabe-se que o aditivo orgânico apresentou, no final do ensaio, um percentual de 14,28% (em 800°C), e diz respeito ao produto final resultante da degradação térmica.

5.2 ENSAIOS FÍSICOS

5.2.1 Determinação do tempo de pega

No que diz respeito ao ensaio de determinação do tempo de pega, que é realizado no estado fresco, quatorze traços de pasta de cimento foram testados, conforme percentuais descritos na metodologia. Os resultados apontaram que todas as misturas com o incremento do pó tiveram um maior tempo de pega (retardamento) em relação ao traço de referência (sem adição). Ademais, percebe-se, até certo ponto, uma tendência proporcional, ou seja, quanto maior o percentual de adição, maior é o retardamento. A Tabela 9 apresenta os tempos medidos no ensaio de pega.

Tabela 9 - Tempos medidos no ensaio de pega

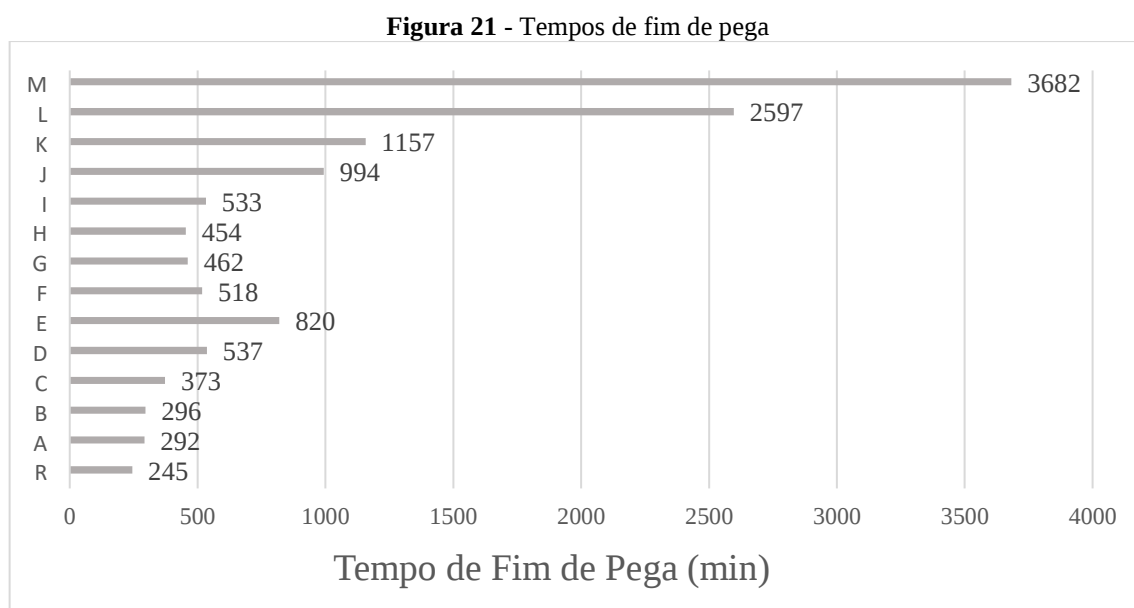
Mistura	%	Tempo de início de pega (h)	Tempo de fim de pega (h)	Tempo retardado (h)
R	0	03:08:00	04:05:00	00:00
A	0,0125	03:17:00	04:52:00	00:47:00
B	0,025	03:44:00	04:56:00	00:51:00
C	0,05	05:01:00	06:13:00	02:08:00
D	0,1	07:15:00	08:57:00	04:52:00
E	0,2	07:43:00	13:40:00	09:35:00
F	0,4	01:32:00	08:38:00	04:33:00
G	0,5	01:49:00	07:42:00	03:37:00
H	0,6	02:24:00	07:34:00	03:29:00
I	0,8	04:29:00	08:53:00	04:48:00
J	1	13:12:00	16:34:00	12:29:00
K	1,2	16:12:00	19:17:00	15:12:00
L	1,5	14:32:00	43:17:00	39:12:00
M	2	51:53:00	61:22:00	57:17:00

Percebe-se, inicialmente, conforme os dados da Tabela 9, que por menor que tenha sido o percentual de incremento do aditivo nas primeiras misturas, esse teve efeito retardador nas amostras, como nos traços A (0,0125%) e o B (0,025%), que representam, respectivamente, 0,0375g e 0,075g de pó para 300g de cimento, sendo responsável pelo retardo de 19,2% e 20,8% dos tempos em minutos em relação à amostra de referência.

Para percentuais maiores, como o C (0,05%), D (0,1%) e E (0,2%), nota-se também um aumento do tempo de pega, respectivamente, de 52,2%, 119,2% e 234,7% em relação à mistura de referência. Não obstante, esse comportamento crescente do retardo não se mostrou constante ao longo de todos os percentuais, percebe-se que o F (0,4%), G (0,5%) e H (0,6%), apesar de

terem promovido um retardo, respectivamente, de 111,4%, 88,5% e 85,3%, não acompanharam o crescimento das adições com menores percentuais.

Por fim, para as demais misturas, I (0,8%), J (1%), K (1,2%), L (1,5%) e M (2%), ocorre, novamente, um crescimento dos retardos do tempo de pega, sendo que a mistura M (2%) apresentou o maior retardo, que foi de 57:17 horas, representando dois dias e meio de ensaio ou 1402,8% a mais que o traço de referência. A Figura 21 mostra os tempos em minutos que as amostras levaram para o fim da pega.



Diversos autores buscaram estudar a influência de aditivo orgânico nas propriedades de pega das pastas, principalmente a partir do incremento da mucilagem (líquido do cacto). Otoko e Ephraim (2014), a partir do líquido da mucilagem da Palma, defendem que a elevação nos tempos de enrijecimento se deve ao elevado teor de açúcares presente no aditivo (68 g/L).

Aline Monteiro (2015), com uso no gesso, percebeu que a incorporação de 1% da mucilagem promoveu o retardo de uma hora e meia. Aquilina *et al.* (2018), por sua vez, notou que a aplicação do aditivo promoveu um atraso no desenvolvimento da resistência em idades precoces dos corpos de prova. Outros autores como Shanmugavela *et al.* (2020) também encontraram resultados parecidos, inclusive alguns com percentuais de adição que tiveram fim de pega com mais de dez horas de ensaio. Não obstante, poucas foram as explicações que levaram o aditivo a ter esse comportamento nas amostras aditivadas.

No que diz respeito ao grau de sólidos solúveis do aditivo orgânico do cacto Mandacaru, o ensaio apontou para um valor de $4,5 \pm 0,5$ °Brix, o que indica um baixo valor de açúcares, dessa maneira, o retardamento da pega se deve sobretudo aos grupos funcionais do aditivo que

promovem a adsorção da água e constituem uma barreira temporária para a hidratação do cimento, como os grupos -OH apontados na banda 3385 cm^{-1} e -COOH na banda 1602 cm^{-1} no ensaio de FTIR.

No que tange a outros tipos de aditivo, Vargas *et al.* (2004) estudou a influência da adição de pó de aciaria elétrica em pastas de cimento Portland, suas análises químicas determinaram a presença majoritária de elementos como Ferro (Fe) e Zinco (Zn), que também são encontradas no aditivo orgânico à base de cacto, conforme apresentado nos resultados do ensaio qualitativo de FRX. Ele afirma que o aditivo contribuiu para o retardamento da pega das pastas de cimento Portland e atribuiu isso aos óxidos metálicos, que interferem nas reações de hidratação do cimento.

Young (apud Araújo, 2019), que investiga a influência do açúcar cristal (material formado de sacarose e encontrado nas plantas) em pastas de cimento Portland, defende que o retardo provocado por esse material se dá pela adsorção do aditivo na água, criando assim uma barreira temporária para a hidratação. Rojas e Cincotto (2013) também deram essa mesma justificativa para o retardo de pastas de cimento Portland incrementadas com policarboxilatos, complementando que essa barreira formada envolve os grãos de cimento, impedindo o seu contato desses com a água.

O mecanismo de ação de aditivos retardadores pode ser físico, como nos exemplos supracitados, através do impedimento da hidratação pela formação de uma barreira, ou pode ser químico. No que diz respeito a esse último, segundo Mehta e Monteiro (2014), o retardamento também pode ser atingido através do controle da solubilidade dos componentes do cimento. Assim, a partir do impedimento da dissolução dos compostos catiônicos ou aniônicos do cimento é possível alterar a velocidade das reações.

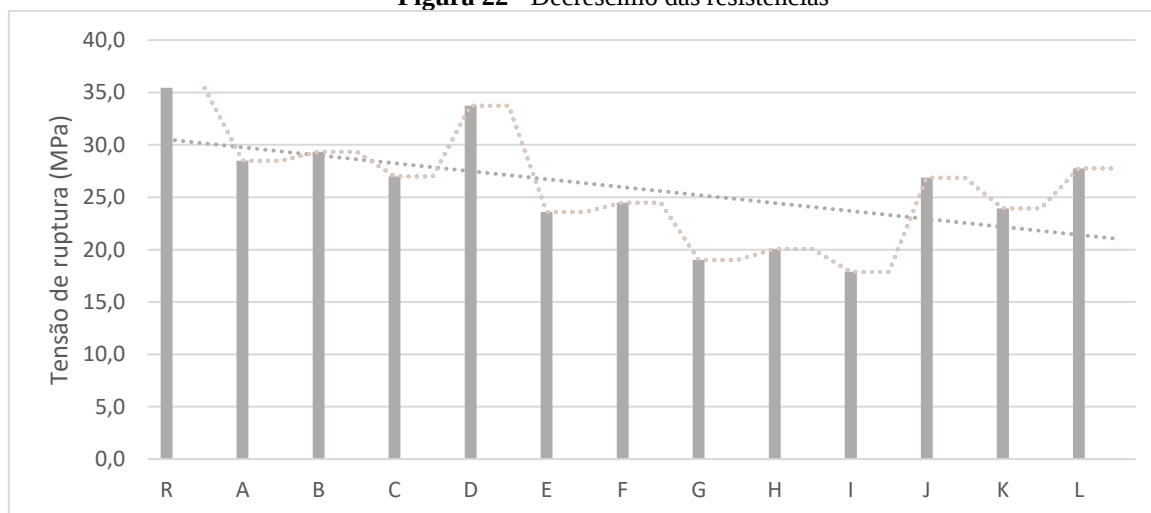
5.2.2 Resistência à compressão

No que tange aos ensaios de resistência à compressão, após o período de cura, dois corpos de prova de cada traço foram submetidos a esforços axiais até a ruptura. De uma maneira geral, observa-se um decréscimo das resistências dos corpos de prova à medida em que se aumenta o percentual de aditivo orgânico à base de Mandacaru. Esse comportamento pode ser entendido somente como uma tendência, visto que, apesar do decréscimo, alguns traços com maiores quantidade de aditivo, como o de D (0,1%), tiveram maiores resistências do que traços com menores percentuais, como o C (0,05%). A Tabela 10 mostra os resultados de resistência à compressão obtidos no ensaio.

Tabela 10 - Resistência à compressão dos CPs

Traço	Adição (%)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	Desvio (MPa)
R	0	37,7	33,2	35,4	3,2
A	0,0125	28,5	28,4	28,5	0,1
B	0,025	29,7	29,0	29,4	0,5
C	0,05	28,8	25,2	27,0	2,6
D	0,1	34,8	32,6	33,7	1,5
E	0,2	20,6	26,6	23,6	4,2
F	0,4	29,0	20,0	24,5	6,3
G	0,5	16,6	21,4	19,0	3,4
H	0,6	21,5	18,6	20,0	2,1
I	0,8	19,7	16,0	17,9	2,6
J	1	26,4	27,3	26,9	0,6
K	1,2	23,4	24,5	23,9	0,8
L	1,5	27,4	28,0	27,7	0,4
M	2	0,0	0,0	0,0	0,0

A partir da Tabela 10, percebe-se que o traço com maior resistência foi a referência (sem adição) com 35,4 MPa, em seguida o traço D (0,1%) com 33,7 MPa. O traço com menor resistência foi o I (0,8%) com 17,9 MPa, visto que o traço M (2%) não foi realizado, uma vez que o efeito retardador impediu o desenvolvimento de resistência. O decréscimo da resistência com a adição do pó é melhor observado na Figura 22.

Figura 22 - Decréscimo das resistências

Apesar do comportamento de decréscimo da resistência observado nos corpos de prova aditivados, no que diz respeito às pesquisas relacionadas, diversos foram os resultados observados na literatura, alguns autores tiveram aumento da resistência à compressão, outros tiveram redução.

Otoko e Ephraim (2014) observaram que, com a substituição de 16% da água de amassamento por mucilagem, se tem um aumento de até 12 MPa no ensaio de compressão e de 0,5 MPa no de flexão. Anne Aquilina *et al.* (2018), a partir do aditivo líquido do cacto, também observou um leve aumento da resistência para idades de 28 e 90 dias, principalmente com a substituição de 60% da água de amassamento por mucilagem.

Por outro lado, Shanmugavela *et al.* (2020) percebeu uma diminuição da resistência à compressão para amostras com sete dias de cura, em todos os percentuais de adição. Ele justificou esse comportamento ao efeito retardador e às mudanças na retenção que o aditivo provoca na mistura. León-Martínez, por sua vez, em amostras com mucilagem da *Opuntia Ficus Indica*, atribuiu a perda de resistência à alta viscosidade e ao efeito surfactante causado pelas proteínas presentes no aditivo.

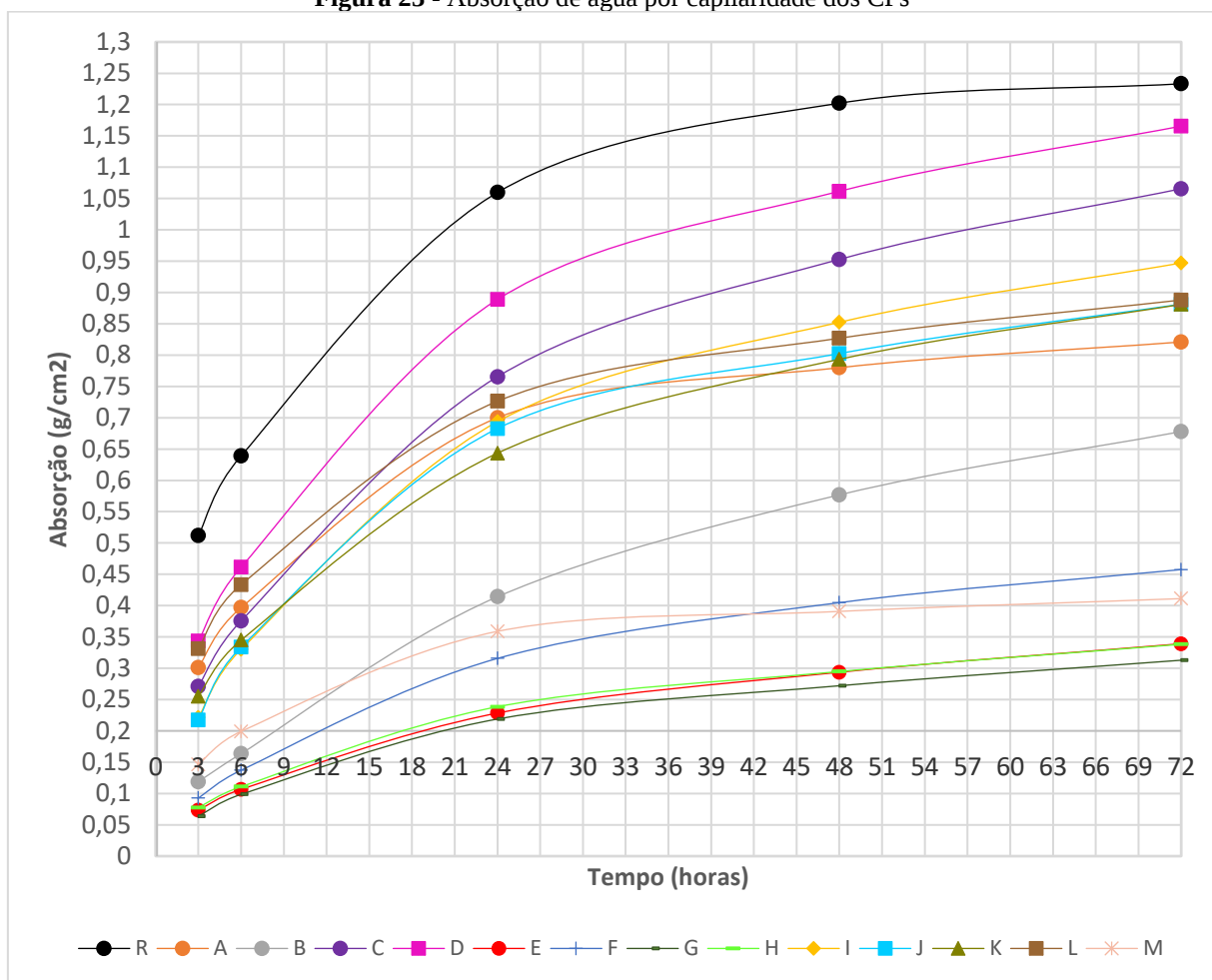
Por fim, Laguna (apud Araújo, 2019), no estudo da adição da sacarose em materiais cimentícios, defende a ideia de que o efeito retardador observado nas amostras incrementadas pode prejudicar a evolução da resistência à compressão, conforme também observado para os traços aditivados pelo pó do cacto.

5.2.3 Absorção de água por capilaridade

Os ensaios de absorção por capilaridade são experimentos para avaliar sobretudo a capacidade de passagem de água, sendo um bom parâmetro para a investigação do comportamento do material frente à ação de agentes externos. Assim, durante setenta e duas horas foram medidos os pesos dos corpos de prova com intuito de observar a influência da adição do pó de Mandacaru, obtido com o *spray dryer* pelo método do moinho, na capacidade de contenção da água.

De maneira geral, os resultados mostram que o pó atuou como agente redutor da absorção de água por capilaridade, como é mostrado na Figura 23. Inicialmente, observa-se que a adição do pó apresenta uma influência benéfica quanto ao comportamento de absorção por capilaridade. A curva superior (em preto) representa o traço sem adição (R), as demais curvas estão a baixo dessa, o que indica que o aditivo orgânico tem a potencialidade de reduzir a absorção de água nas argamassas incrementadas.

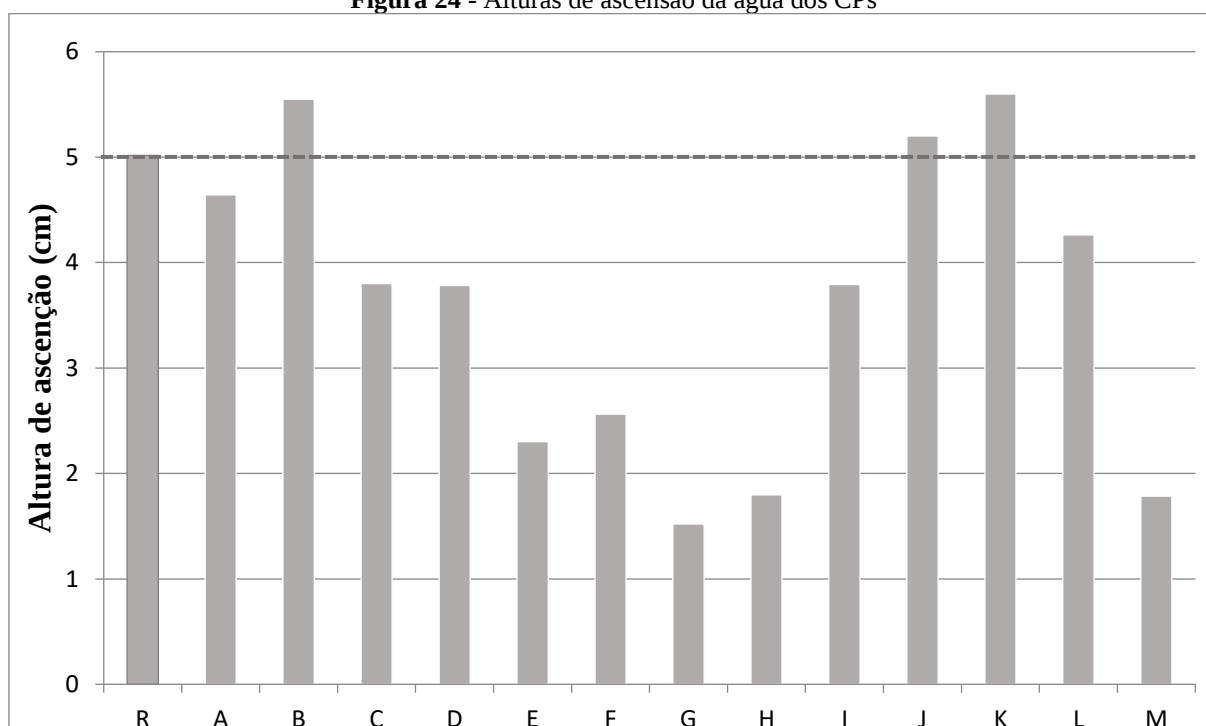
Figura 23 - Absorção de água por capilaridade dos CPs



Conforme é observado na Figura 23, todos os traços com adição de pó da Mandacaru apresentaram um desempenho no sentido de reduzir a absorção de água por capilaridade, especialmente os traços E (0,2%), F (0,4%), G (0,5%), H (0,6%) e M (2%), que mostram uma elevada redução de absorção de água ao longo das medições, registrando, respectivamente, uma redução de 72,5%, 62,9%, 74,6%, 72,6% e 66,7% de absorção em relação ao traço de referência. Por fim, o traço que teve a menor redução de absorção foi o D (0,1%), que registrou uma redução de 5,5% de água em relação ao traço R, referência sem adição.

Ademais, a partir da medição das alturas de ascensão da água, foi percebido que as medidas obtidas são condizentes com a grande maioria dos acréscimos de massa de água absorvidas pelos corpos de prova, como ocorreu com os traços E (0,2%), F (0,4%), G (0,5%), H (0,6%) e M (2%), que mostraram ser o maior potencial redutor, apesar de essas medições estarem suscetíveis a erros, visto o caráter visual da medição. As medidas de altura de ascensão são apresentadas na Figura 24.

Figura 24 - Alturas de ascensão da água dos CPs



No que diz respeito aos motivos que levaram a esse comportamento, muitas são as variáveis que podem interferir na capacidade de absorção de um material. Segundo Azevedo (2013), a capilaridade pode ser entendida como a força de adesão e coesão criada com o contato da água com o material, e varia conforme a microestrutura desse, bem como a viscosidade, densidade e tensão superficial do líquido.

No que tange a literatura encontrada, Ramírez-Arellanes (2012), a partir do incremento da mucilagem do cacto, também conseguiu reduzir significativamente a capacidade de absorção por capilaridade de água em todas as misturas de concreto curado em sete dias, em relação ao traço de controle. Ademais, por meio da adição da mucilagem do cacto em corpos de prova submetidos em meio aquoso contendo H_2SO_4 , Shanmugavela *et al.* (2020) observou que o aditivo atua de maneira a formar um filtro polimérico protetor contra a ação do ácido sulfúrico.

Além disso, os estudos de Chandra (1998) muito contribuíram para confirmar essa ideia. Assim, foi observado que a absorção de água foi reduzida com a substituição de 50% e 100% da água de amassamento dos corpos de prova. Chandra afirma que essa diminuição se deve à formação, em razão do incremento da mucilagem, de complexos de cálcio, elemento também observado no ensaio de FRX do aditivo usado no presente trabalho, e de uma membrana polimérica que sela os poros.

Por último, vale destacar que os ensaios de FTIR, realizados no pó obtido pelo método de cocção, indicam a existência de estiramentos de OH na amostra, a partir das intensas bandas observadas em 3385 cm^{-1} , o que pode indicar grupos hidroxila na estrutura do aditivo. Essa condição ratifica a capacidade higroscópica (uma substância é dita higroscópica, quando ela retira umidade da atmosfera) do pó e também a possibilidade de fixação da água por adsorção dentro dos poros.

6 CONCLUSÕES

Por fim, o presente estudo mostra-se relevante na medida em que busca entender o comportamento de um aditivo para argamassas e concretos obtido por meios alternativos e através de uma matéria prima natural (cacto), o que vai na contramão de processos nocivos ao meio ambiente, muito recorrentes na indústria da construção civil. Ademais, a planta utilizada é abundante no semiárido brasileiro, potencializando a existência de uma indústria local, bem como se mostra uma proposta sustentável e alternativa aos aditivos petroquímicos e mineralógicos.

A aplicação de aditivos vegetais retoma práticas seculares, sendo que muitos autores buscaram entender sua aplicação em materiais cimentícios, a grande maioria a partir do incremento do líquido do cacto (mucilagem) nas pastas, argamassas e concretos. Poucos estudos utilizaram o aditivo na forma de pó.

Quanto aos métodos utilizados, percebe-se que a obtenção da mucilagem pelo método da cocção mostrou-se válida, bem como o método de obtenção do pó (*spray drying*), que se provou eficiente na concentração de componentes secos a partir de um líquido.

No que diz respeito à análise microestrutural do aditivo, percebe-se, por meio do ensaio de Fluorescência de Raios X, a existência majoritária de CaO, K₂O e MgO, bem como de diversos elementos observados no ensaio qualitativo. O ensaio Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, por sua vez, apontou a existência de diversos grupos funcionais, como o predomínio de grupos carboxílicos livres em detrimento dos esterificados, ligações éter, alongamentos de C-H, estiramentos de OH, bem como uma possível estrutura cíclica. Essa configuração ratifica um possível efeito de adsorção do aditivo na água, visto a existência de grupos polares, que impede a hidratação temporário do cimento, promovendo o seu retardamento. Ademais, muito se percebeu também a semelhança das bandas de absorbância dos grupos funcionais citados no ensaio de FTIR com estudos da pectina, o que pode ser um polissacarídeo predominante no aditivo.

A análise térmica indicou que o pó perde mais da metade de sua massa até atingir a temperatura de 500°C.

Os ensaios físicos indicaram que o aditivo orgânico à base de cacto atua como um forte retardador de pega, sendo capaz de aumentar o fim da pega, com os traços analisados, em até 1402,8% em relação ao traço de referência, os estudos encontrados atribuíram esse comportamento à adsorção do aditivo na água, que impede a hidratação do cimento. Quanto aos resultados dos ensaios de compressão, o aditivo prejudicou, de uma maneira geral, a evolução da resistência dos corpos de prova aditivados. Por outro lado, o pó muito contribuiu para a redução da absorção de água por capilaridade, em razão da formação de uma possível membrana polimérica, que reduz a passagem de água.

Por fim, vale destacar que a redução da absorção de água muito contribui para o aumento da durabilidade dos materiais cimentícios, nesse sentido, percebe-se, a partir dos resultados obtidos, que o incremento do aditivo orgânico pode contribuir para o impedimento da entrada de agentes agressivos no interior do material e prolongar a sua vida útil.

7 TRABALHOS FUTUROS

Em função de fatores que fogem ao alcance da pesquisa, sobretudo em razão das limitações de recursos e de tempo, algumas abordagens que não foram tratadas no presente trabalho mostram-se promissoras para trabalhos futuros.

Assim, pode-se citar o estudo do desenvolvimento da resistência mecânica ao longo de períodos maiores de tempo de corpos de prova aditivados, bem como da influência do aditivo nas propriedades das argamassas sob a perspectiva da durabilidade, a partir de ensaios de envelhecimento.

Além disso, outras formas de investigação da influência do aditivo orgânico de cacto são possíveis, principalmente no que diz respeito à análise do calor de hidratação, como a realização de ensaios ultrassônicos, e à análise térmica de argamassas aditivadas.

Por fim, a realização de outros ensaios de caracterização da microestrutura do aditivo e das argamassas aditivadas são promissoras para tornar a pesquisa mais enriquecida, como a difração de raios X (DRX), a granulometria e a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

REFERÊNCIAS

- ABESC, **MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL**, São Paulo - SP, 2007.
- AQUILINA, A.; BORG, R. P.; BUHAGIAR, J.; **The application of Natural Organic Additives in Concrete: Opuntia ficus-indica**, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.
- ARALLANES, S. R.; Barrita, P.F. de J. C.; **Concrete durability properties and microstructural analysis of cement pastes with nopal cactus mucilage as a natural additive**, *Materiales de Construcción* vol. 62, 2012.
- ARAÚJO, M. C. L.; **USO POPULAR DO AÇÚCAR CRISTAL COMO RETARDADOR DO TEMPO DE INÍCIO DE PEGA E SUA INFLUÊNCIA EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND**, Trabalho de conclusão de curso da UFPE, 2019.
- ASEVEDO E. A.; **ELABORAÇÃO DE COBERTURA FILMOGÊNICA À BASE DE PECTINA EXTRAÍDA DA CASCA DO CAJÁ PARA REVESTIMENTO EM FRUTAS**, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRN. 2018
- AZEVEDO, J. M. C. B.; **ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE DE SOLUÇÕES AQUOSAS SALINAS EM MATERIAIS POROSOS**, Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- BATTAGIN, A. F.; **Uma breve história do cimento Portland**, 2009. Acessado em: <https://abcp.org.br/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>
- BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2020 (PAIC)**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Serviços e Comércio.
- CANTERI, M. H. G.; WOSIACKI, L. M. G.; SCHEER, A. P.; **Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final**. Coordenação de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2012.
- CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M.; GOYCOOLEA, F. M. **On the possible role of Opuntia ficus-indica mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings**. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 3, p. 64-71, 1998.
- CHANDRA, S. **Use of cactus in mortars and concrete**. *Cement and concrete research*, v. 28, n. 1, p. 41-51, 1998.
- COSTA, A. C. S. S.; **UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE CACTO EM ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND**, Trabalho de conclusão de curso da UFERSA, 2014.
- Costa, T. M. S.; Martinelli, J. R.; Matos, J. R.; **ANÁLISE TÉRMICA APLICADA A ESTUDOS DE ECOEFICIÊNCIA DO BAMBU PARA PROCESSOS DE CARBONIZAÇÃO**, Porto Alegre, 2004.
- FRACASSO, A. F.; **MODIFICAÇÃO QUÍMICA DE PECTINA CÍTRICA: IMPLICAÇÕES ESTRUTURAIS, FÍSICAS E REOLÓGICAS**. Universidade do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2015.
- HERNÁNDEZ-ZARAGOZA, J. B. **Mortar improvement using nopal additive**. *J PACD*, v. 10, p. 120-125, 2008.

IBI; **MANUAL DE UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS PARA CONCRETO**, São Paulo, 2ª edição, 2021.

KALOUSTIAN, J.; PAULI A. M.; PASTOR J.; **Chemical and Thermal Analysis of the Biopolymers in the Lavandin**, 2000.

LAGUNA, L. A. **A influência da sacarose no tempo de pega do cimento**. Consultoria técnica Intercement. 2002.

LEAL SALES, M. S.; MARTINS, L. V.; SOUZA, I.; MEIRELES DE DEUS, M. S.; PERON, A. P.; **CEREUS JAMACARU DE CANDOLLE (CACTACEAE), O MANDACARU DO NORDESTE BRASILEIRO**, Publ. UEPG Ci. Biol. Saúde, Ponta Grossa, v.20, n.2, p. 135-142, jul./dez. 2014.

LEÓN-MARTÍNEZ, F. M.; MENDEZ-LAGUNAS, Lilia Leticia; RODRIGUEZ-RAMIREZ, Juan. **Spray drying of nopal mucilage (Opuntia ficus-indica): effects on powder properties and characterization**. Carbohydrate Polymers, v. 81, n. 4, p. 864-870, 2010.

LIANG R.; CHEN J.; LIU W.; LIU C.; YU W.; YUAN M.; ZHOU X.; **Extraction, characterization and spontaneous gel-forming property of pectin from creeping fig (Ficus pumila Linn.) seeds**. Carbohydrate Polymers 87, 2011.

MAGALHÃES, A. C. T. V. de. **Estudo de Fibras Vegetais, Mucilagem de Cacto e Gesso em Componentes Construtivos**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. 123f.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHIN, R. N.; **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**, Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª edição Brasileira. 4ª Edição em inglês. São Paulo. Brasil, 2014.

MONTEIRO, A. G. S. **DESENVOLVIMENTO DE ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR DE PEGA PARA GESSO A PARTIR DA MUCILAGEM DA PALMA FORRAGEIRA**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba (UFPB). 2015.

NBR 11768-1: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

NBR 13279: **Argamassa para assentamento de paredes-resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 16607: **Cimento Portland – Determinação dos tempos e pega**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 7215: **Cimento Portland – determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

NBR 9779: **Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de água por capilaridade – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

NBR NM 43: **Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

NBR NM 9: Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

NETO, M. A. B.; MATURAÇÃO DE FRUTOS E SALINIDADE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MANDACARU (Cereus jamacaru P. DC.); Dissertação de Mestrado da UFPB, 2018.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, H. C. M.; INCORPORAÇÃO DA MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA CIMENTO PORTLAND, Trabalho de conclusão de curso da UFPB, 2018.

OLIVEIRA, V. C. H. C.; Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos estruturais, Dissertação de mestrado da Escola Politécnica da USP, 2015

OTOKO, G. R.; EPHRAIM, M. E.; Concrete admixture and set retarder pontential of palm liquor; European International Journal of Science and Technology, 2014.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A.; PECTINA: PROPRIEDADES QUÍMICAS E IMPORTÂNCIA SOBRE A ESTRUTURA DA PAREDE CELULAR DE FRUTOS DURANTE O PROCESSO DE MATURAÇÃO. Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

POWERS, T. C.; The Physical Struture and Engineering Properties of Concrete, Bulletin 90, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1958.

QUARCIONI, V. A. Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland - Estudo em pasta. 2008. 188f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RESENDE, L. M.; FARINHAS DE CASCA DE JABUTICABA: CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COMO FONTE DE PECTINA, ESTUDO DA INTERAÇÃO FIBRAS-POLIFENÓIS E PREDIÇÃO DE COMPOSTOS POR ESPECTROSCOPIA FTIR, Tese de Doutorado da UFMG, 2021.

ROJAS, C. M.; CINCOTTO, M. A.; Influência da estrutura molecular dos policarboxilatos na hidratação do cimento Portland, 2013.

SANATI, L.; BERGER, M.; SILVA, W. O. B.; PECTINASES E PECTINA: APLICAÇÃO COMERCIAL E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO, Caderno pedagógico, Lajeado, v. 11, n. 1, p. 130-139, 2014.

SANTOS, L. B.; A INDÚSTRIA DE CIMENTO NO BRASIL: ORIGENS, CONSOLIDAÇÃO E INTERNACIONALIZAÇÃO, 2011

SHANMUGAVEL, D.; SELVARAJ, T.; RAMADOSS, R.; RANERI, S.; Interaction of a viscous biopolymer from cactus extract with cement paste to produce sustainable concrete. Construction and Building Materials, 2020.

SOBRAL, E. S. Propriedades do Concreto Fresco. In: BAUER, L. A. F. Materiais de construção 1.5. ed. revisada. Rio de Janeiro: Livro técnicos e científicos, 2000.

SOUSA A. L. N.; Extração, caracterização e modificação química da pectina do melão caipira (Cucumis melo var. acidulus). Dissertação (Mestrado), UFC. 2015.

SOUSA A. L. N.; RIBEIRO A. C. B.; SANTOS D. G.; RICARDO N. M. P. S.; RIBEIRO M. E. N. P.; CAVALCANTI E. S. B.; CUNHA A. P.; MODIFICAÇÃO QUÍMICA DA PECTINA DO MELÃO CAIPIRA (Cucumis melo VAR. ACIDULUS). Quim. Nova, Vol. 40, No. 5, 554-560, 2017.

SOUZA J. R. R.; RICARDO N. M. P. S.; BRITO E. S.; DE PAULA R. C. M.; FEITOSA J. P. A.; **ISOLAMENTO DE PECTINA DE ABÓBORA (CUCURBITA MOSCHATA, L.) POR HIDRÓLISE ÁCIDA**. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009

SOUZA, A. V.; FERNANDES, J. F.; TRALLI, J. B.; GALVÃO P.; **APLICAÇÃO DA SECAGEM POR SPRAY DRYING PARA PRODUÇÃO DE EXTRATOS VEGETAIS SECOS**, Revista Científica UNILAGO, 2013.

SOUZA, G. F. A. **AValiação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto Opuntia ficus-indica em pastas e microconcretos de cimento Portland**. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2019.

TAYLOR, H. F. W.; **Cement chemistry**, 2nd edition, American Society of Civil Engineers, Publications Sales Department, 1998.

VARGAS, A. S.; MASUERO, A. B.; VILELA, A. C. F.; **Estudo microestrutural e determinação do calor de hidratação em pastas de cimento Portland com pó de aciaria elétrica (PAE)**, 2004.

Young, J. F. (1972). **A review of the mechanisms of set-retardation in port-land cement pastes containing organic admixtures**. Cem. Concr. Res.,p. 415–433.

ZANELLA, K. **EXTRAÇÃO DA PECTINA DA CASCA DA LARANJA-PERA (Citrus sinensis L. Osbeck) COM SOLUÇÃO DILUÍDA DE ÁCIDO CÍTRICO**. Universidade Estadual de Campinas, Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura, 2013.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F.; **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE POLÍMERO NATURAL EXTRAÍDO DO CACTO MANDACARU (Cereus jamacaru) COMO AUXILIAR NOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**, REA – Revista de estudos ambientais (Online), v. 14, n. 2esp, p. 75-83, 2012.