



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – CCEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE
MATERIAIS**

ANDRESA DE FREITAS SILVA

**PRODUÇÃO DE CALDA DE INJEÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO POR QUITOSANA: RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO AXIAL E ANÁLISE MICROESTRUTURAL**

Recife

2024

ANDRESA DE FREITAS SILVA

PRODUÇÃO DE CALDA DE INJEÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO POR QUITOSANA: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E
ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

Área de concentração: Materiais Não Metálicos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Patrícia Maria de Albuquerque Farias

Coorientador: Prof. Dr. João Ricardo Pereira da Silva

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Andresa de Freitas.

Produção de calda de injeção com substituição parcial do cimento por quitosana: resistência à compressão axial e análise microestrutural / Andresa de Freitas Silva. - Recife, 2024.
179f.: il.

Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais, 2024.

Orientação: Patrícia Maria de Albuquerque Farias.

1. Alternativas ao cimento Portland; 2. materiais sustentáveis; 3. quitosana; 4. compósitos cimentícios; 5. calda para injeção. I. Farias, Patrícia Maria de Albuquerque. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 620.19

ANDRESA DE FREITAS SILVA

PRODUÇÃO DE CALDA DE INJEÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO POR QUITOSANA: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E
ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de
Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

Área de concentração: Materiais Não Metálicos.

Aprovado em: 05/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Patrícia Maria Albuquerque de Farias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof^a. Dra. Analice França Lima Amorim (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Olavo Cardozo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife

2024

Dedico este trabalho

Ao meu Deus.

Aos meus pais, Norma Lúcia e

“in memoriam” Paulo Bonifácio.

Às minhas irmãs, Ana Paula, Anielly,

Andryelle e Andrynyelle

A toda minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por ter-me permitido superar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste mestrado, bem como à Virgem Maria por sua benéfica intercessão.

À minha mãe, Norma Lucia, e às minhas irmãs, Ana Paula, Anielly, Andryelle e Andrynyelle, por todo o amor, por confiarem em mim, serem o meu alicerce e as maiores incentivadoras na vida acadêmica e profissional, apoiando-me em cada caminhada, proporcionando-me as melhores condições de estudo e dando-me forças e sabedoria para seguir em frente sem perder a fé, humildade e a simplicidade. Amo vocês!

Ao meu afetuoso pai, Paulo Bonifácio (*in memoriam*), que, apesar de não estar mais neste plano, sua presença permanece presente e sentida diariamente em meu coração, e sei que, independentemente de onde esteja, está feliz com essa conquista: ter uma de suas filhas como a primeira Mestre da família. Saudades eternas, Pai!

Ao meu namorado Almir Santos, pela paciência e compreensão, por todos os momentos em que estive ao meu lado, escutando-me, dando-me conselhos para suportar as dificuldades, apoiando-me, incentivando-me e ajudando da melhor maneira possível, agradeço imensamente.

Aos meus cunhados Luciano Ítalo e Francisco Monteiro, por todo o apoio, incentivo e amizade; sem dúvida, foram essenciais nessa minha trajetória.

Aos amigos e familiares, por compreenderem minha ausência em certos momentos e principalmente pela força que sempre me deram e apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho. Em especial, à minha amiga Rafaela Holanda, por não soltar minha mão quando eu mais precisei, por todo companheirismo e motivação ao longo desta jornada.

À Universidade Federal de Pernambuco, pela oportunidade de realizar o curso e a todo o seu corpo docente, coordenação, técnicos e administração pelo apoio e dedicação ao que fazem. Em especial, à assistente em administração Ingrid Vanessa por toda paciência para comigo, e aos colegas de laboratório Dr. Laurertan

Tavares e o técnico de laboratório de MEV do Departamento de Física, Sérgio Santos, aos quais me proporcionaram uma ajuda imensa, tanto na parte da utilização dos softwares como no conhecimento técnico. Serei eternamente grata a eles.

À minha orientadora, a Professora Dr^a. Patrícia Maria de Albuquerque Farias, por todos os ensinamentos, apoio, ajuda, amizade e paciência durante o período do mestrado, além da confiança me concedida para fazer parte do seu grupo de pesquisa; gratidão eterna.

Ao meu coorientador externo, Dr. João Ricardo Pereira Silva, pelo conhecimento compartilhado durante essa caminhada.

Aos meus colegas de turma por compartilharem comigo momentos de descobertas e aprendizado, bem como pelo companheirismo ao longo deste percurso.

Aos meus Professores que me acompanham desde a graduação, Me. João Ribeiro de Carvalho, por suas contribuições e companheirismo, e o professor Dr. Jonas da Silva Bezerra, a quem sou eternamente grata, pelos conselhos, apoio, ajuda, confiança, orientações e amizade.

A todos os integrantes do Grupo Técnico em Edificações (GTED) da Superintendência Regional da Polícia Federal em Pernambuco, pela amizade, apoio e incentivo ao longo desta trajetória.

À CAPES pela bolsa, que auxiliou na minha estadia em Recife, Pernambuco, para o desenvolvimento do projeto.

À ANGELS Projetos e Soluções, à Escola Politécnica de Pernambuco – (POLI/UPE) e à Nardo Engenharia & Consultoria por terem disponibilizado seus espaços para realização do meu procedimento experimental.

À CONCRECON Concreto e Construções Ltda pela doação da sílica ativa, em particular a José Morais.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e torceram pelo meu sucesso acadêmico e profissional, meu muito obrigada!

“Por isso, vos digo: tudo o que pedirdes na oração, crede que o tendes recebido, e vos será dado” (Novo Testamento, São Marcos 9:23).

RESUMO

A quitosana é um biopolímero derivado da desacetilação da quitina, a qual é o componente mais abundante nas carapaças (exoesqueletos) de camarões, caranguejos e outros crustáceos, podendo também ser obtida a partir de insetos, fungos, bactérias e leveduras. A quitosana é o segundo polissacarídeo natural mais abundante na Terra, depois da celulose. O presente trabalho, aborda a utilização de quitosana na substituição parcial do cimento Portland, em calda destinada à injeção. Todos os ensaios foram conduzidos de acordo com a normatização técnica vigente. Dessa forma, este trabalho analisa a influência da quitosana na resistência mecânica à compressão axial e na microestrutura da calda cimentícia de injeção. Para tanto, foi estabelecido o percentual de substituição de quitosana em 0,1%, com base na literatura e em resultados preliminares do nosso grupo. Foi determinado o traço das amostras preparadas, e na sequência, foram produzidas as caldas. Os corpos de prova foram montados em seguida. Com as caldas ainda não endurecidas, foram realizados os ensaios de fluidez e de vida útil. Depois, com os corpos de prova endurecidos, foram realizados: ensaio de resistência à compressão axial e análises microestruturais (FRX; MEV/EDS; DRX e FTIR). Os resultados obtidos demonstraram que a quitosana, na concentração relativa utilizada, é capaz de substituir parcialmente o cimento em caldas de injeção, sem prejuízo da resistência mecânica à compressão e obedecendo aos requisitos das normas técnicas em vigor. Assim, a substituição parcial do cimento por quitosana, em caldas de injeção, mesmo em baixa proporção, desponta como uma alternativa promissora no desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis.

Palavras-Chave: Alternativas ao cimento Portland; materiais sustentáveis; quitosana; compósitos cimentícios; calda para injeção.

ABSTRACT

Chitosan is a biopolymer derived from the deacetylation of chitin, which is the most abundant component in the shells (exoskeletons) of shrimps, crabs, and other crustaceans. It can also be obtained from insects, fungi, bacteria, and yeast. Chitosan is the second most abundant natural polysaccharide on Earth, after cellulose. This study addresses the use of chitosan in partially replacing Portland cement in injection mortar. All tests were conducted in accordance with current technical standards. Thus, this work analyzes the influence of chitosan on the compressive strength and microstructure of the injection mortar. To do so, a chitosan replacement percentage of 0.1% was established based on literature and preliminary results from our group. The mixture for the prepared samples was determined, and then the mortars were produced. The specimens were assembled next. With the mortars still unset, flow and working life tests were performed. Subsequently, with the hardened specimens, axial compressive strength tests and microstructural analyses (XRF; SEM/EDS; XRD; and FTIR) were carried out. The obtained results demonstrated that chitosan, at the relative concentration used, is capable of partially replacing cement in injection mortars without compromising the compressive strength and complying with current technical standards. Thus, the partial replacement of cement with chitosan in injection mortars, even in low proportions, emerges as a promising alternative in the development of sustainable construction materials.

Keywords: Alternatives to Portland cement; sustainable materials; chitosan, Portland cement composites; injection mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação esquemática das propriedades geométricas.....	23
Figura 2 -	Reação de desacetilação da quitina, que origina a quitosana.	25
Figura 3 -	Diagrama esquemático do processo obtenção da quitosana a partir da quitina.....	27
Figura 4 -	Matérias-primas usadas no trabalho: (A) Cimento Portland; (B) Sílica Ativa e (C) Pó de quitosana.....	34
Figura 5 -	Fluxograma das etapas desenvolvidas.....	39
Figura 6 -	Amostras das matérias-primas.....	40
Figura 7 -	Demonstração da pesagem de algumas das matérias-primas usadas no trabalho: (A) Cimento Portland; (B) Sílica Ativa; (C) Pó de quitosana.....	42
Figura 8 -	Corpos-de-prova com amostras padrão.....	44
Figura 9 -	Corpos-de-prova com amostras com adição de 0,1% quitosana.....	44
Figura 10 -	Alguns dos corpos-de-prova após serem desmoldados.....	45
Figura 11 -	Peneira metálica cm abertura de malha de 2,36 mm.....	45
Figura 12 -	Funil Marsh metálico recomendado pela ABNT NBR 7681:2013.....	46
Figura 13 -	(A) Suporte/Tripé metálico para apoio do funil; (B) Proveta com capacidade de 1000 ml.....	46
Figura 14 -	(A) Equipamento montado para o ensaio; (B) Equipamento com o bico obstruído manualmente.....	47
Figura 15 -	(A) Algumas das amostras sob o Stub no equipamento, já metalizadas; (B) Equipamento de metalização.....	50
Figura 16 -	Equipamento de MEV da marca TESCAN do modelo MIRA 3.....	50
Figura 17 -	Estufa e prensa hidráulica de pastilha X-PRESS.....	51
Figura 18 -	Cápsula com amostra já prepara na matriz cilíndrica.....	52
Figura 19 -	Equipamento de FRX.....	52

Figura 20 -	Equipamento de DRX da marca RIGAKU do modelo SMARTLAB..	53
Figura 21 -	Equipamento de FTIR.....	54
Figura 22 -	MEV aplicado ao Cimento Portland: (A) 5.00 kx e (B) 2,31 kx.....	58
Figura 23 -	MEV e EDS aplicada ao Cimento Portland (CP II- F 32).....	58
Figura 24 -	MEV aplicado à Sílica Ativa: (A) 5.00 kx e (B) 2,00 kx	59
Figura 25 -	MEV e EDS aplicada à Sílica Ativa.....	60
Figura 26 -	MEV aplicado à Quitosana: (A) 5.00 kx e (B) 10,00 kx.....	60
Figura 27 -	MEV e EDS aplicada a Quitosana.....	61
Figura 28 -	Difratogramas dos materiais: cimento Portland, sílica ativa e quitosana.....	62
Figura 29 -	Espectros de absorção FTIR: cimento Portland, sílica ativa e quitosana.....	65
Figura 30 -	Fluidez das amostras: Padrão e 0,1% de quitosana.....	67
Figura 31 -	Determinação da vida útil para as amostras: Padrão e com 0,1% de quitosana.....	69
Figura 32 -	Evolução da resistência mecânica à compressão.....	70
Figura 33 -	MEV aplicado à amostra padrão.	76
Figura 34 -	MEV aplicado à amostra com 0,1% de quitosana.....	77
Figura 35 -	MEV e EDS aplicados à amostra padrão.....	78
Figura 36 -	MEV e EDS aplicados à amostra com 0,1% de quitosana.....	78
Figura 37 -	Difratogramas das amostras: Padrão e com 0,1% de quitosana...80	
Figura 38 -	Espectros de absorção FTIR das amostras padrão e com 0,1% de quitosana.....	83
Figura 39 -	Fluxograma simplificado das etapas de fabricação do cimento Portland.....	153
Figura 40 -	Representação esquemática do processo por via seca da fabricação de cimento.....	154
Figura 41 -	Grão de um clínquer de cimento Portland.....	155
Figura 42 -	Micrografia de um grão de clínquer de cimento Portland.....	156
Figura 43 -	Representação das etapas de hidratação do cimento.....	158
Figura 44 -	(A) Funil Marsh com dimensões internas, (B) Tripé de apoio com o funil.....	163
Figura 45 -	Princípio de funcionamento do MEV.....	166

Figura 46 -	Exemplo de um diagrama difratômetro de raios-X.....	169
Figura 47 -	Esquematização do processo de emissão da energia característica da FRX.....	171
Figura 48 -	Componentes básicos de um espectrômetro FTIR.....	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Porcentagem de massa para composição do CP II-F-32.....	35
Tabela 2 -	Principais características do Cimento Portland (CP II-F 32) usado na produção das amostras.....	35
Tabela 3 -	Principais características físicas e químicas da sílica ativa.....	36
Tabela 4 -	Requisitos químicos e físicos que a sílica ativa deve atender.....	37
Tabela 5 -	Principais características Física, Química e de pH da quitosana usada nas amostras.....	37
Tabela 6 -	Dosagem para execução da calda de cimento para injeção.....	41
Tabela 7 -	Quantificação dos corpos-de-prova por traço.....	48
Tabela 8 -	Composição química, em óxidos, das matérias-primas obtidas por FRX.....	55
Tabela 9 -	Valores aferidos e desvios-padrão para o escoamento de 1 litro de calda em segundos.....	68
Tabela 10 -	Resultado do ensaio de resistência mecânica à compressão axial das caldas de cimento para injeção aos 28 dias.....	70
Tabela 11 -	Tabela 11 - Análise de variância do ensaio de resistência à compressão aos 28 Dias.....	72
Tabela 12 -	Tabela 12 – Teste de Tukey e Teste de Fisher para o ensaio de resistência à compressão aos 28 Dias.....	72
Tabela 13 -	Tabela 13 - Composição química em óxidos, das amostras (Padrão e 0,1% de quitosana) obtidas por análise de FRX.....	73
Tabela 14 -	Tabela 14 – Tipos e composições dos cimentos Portland utilizados no Brasil.....	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sequência de mistura da pasta de cimento.....	43
Quadro 2 - Principais constituintes do cimento Portland.....	148
Quadro 3 - Fases impuras dos compostos do clínquer em seu formado no microscópio.....	151

LISTA DE ABREVIações

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Relação Água/Cimento
CA(OH)₂	Hidróxido de Cálcio (portlandita)
CP II-F	Cimento Portland Composto por Fíler
C₃A	Aluminato tricálcio
C₂S	Silicato dicálcico (belita)
C₃S	Silicato tricálcico (alita)
C₄AF	Ferroaluminato tetracálcico
CaO	Óxido de cálcio
CaCO₃	Carbonato de cálcio ou calcita
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
CH	Portlandita ou Hidróxido de Cálcio
CP	Corpos de Prova
DRX	Difração de raios -X
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
FRX	Espectroscopia de fluorescência de raios -X
GCCA	Global Cement and Concrete Association
IEA	International Energy Agency
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MgO	Óxido de magnésio
Mpa	Mega Pascal
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
NBR	Norma Brasileira
Ph	Potencial Hidrogeniônico
SiO₂	Dióxido de silício ou sílica
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria da Construção
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CALDA DE CIMENTO PORTLAND PARA INJEÇÃO	22
1.2	QUITOSANA	24
1.2.1	Produção de quitosana	25
1.2.2	Propriedades e Aplicações	28
1.3	IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND.	29
1.4	CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PRESENTE TRABALHO	31
2	OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO	33
2.1	OBJETIVO GERAL.....	33
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	MATÉRIAS UTILIZADOS	34
3.1.1	Cimento (Aglomerante)	34
3.1.2	Sílica Ativa (Adição mineral)	35
3.1.3	Quitosana (Biopolímero)	37
3.1.4	Aditivo	38
3.1.5	Água	38
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	38
3.2.1	Ensaio de Caracterização dos Materiais	40
3.2.2	Produção das Caldas de Injeção	40
3.2.3	Caracterização da Calda de Injeção	45
3.2.3.1	Ensaio de Determinação do Índice de Fluides da Calda de Injeção.....	45
3.2.3.2	Ensaio de Determinação da Vida Útil da Calda de Injeção	47
3.2.4	Caracterização no Estado Endurecido dos Compósitos	48
3.2.4.1	Resistência Mecânica à Compressão Axial.....	48
3.2.5	Caracterização Microestrutural	49
3.2.5.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)	49
3.2.5.2	Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX).....	51

3.2.5.3	Difratometria de Raios-X (DRX)	52
3.2.5.4	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)..	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	ANÁLISE MICROESTRUTURAL DOS MATERIAIS ANIDROS	55
4.1.1	Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX).....	55
4.1.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)	57
4.1.3	Difratometria de Raios-X (DRX).....	61
4.1.4	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	64
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA CALDA DE INJEÇÃO	67
4.2.1	Determinação de Fluides e de Vida Útil	67
4.2.2	Resistência Mecânica à Compressão Axial	70
4.3	ANÁLISE MICROESTRUTURAL.....	73
4.3.1	Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX).....	73
4.3.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)/ Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)	74
4.3.3	Difratometria de Raios-x (DRX)	79
4.3.4	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	82
5	CONCLUSÕES	85
5.1	PERSPECTIVAS FUTURAS	86
	REFERÊNCIAS.....	88
	APÊNDICE A – CIMENTO PORTLAND	142
	APÊNDICE B – TIPOS E COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND.	144
	APÊNDICE C – PRODUÇÃO E HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND	152
	APÊNDICE D – SÍLICA ATIVA.....	161
	APÊNDICE E – ENSAIOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ E VIDA ÚTIL.....	163
	APÊNDICE F – ENSAIOS MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) / ESPECTROSCOPIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS)	164

APÊNDICE G – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX).....	167
APÊNDICE H – ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX).....	170
APÊNDICE I – ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	172
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO CIMENTO PORTLAND – CP II-F 32	175
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DA SÍLICA ATIVA.....	176
ANEXO C – FICHA TÉCNICA DA QUITOSANA EM PÓ	179

1 INTRODUÇÃO

Compósitos cimentícios são usados globalmente em larga escala na construção civil. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, especialmente, às características que esses compósitos apresentam em termos de moldabilidade, facilidade de produção e resistência mecânica elevada (MOHAMAD *et al.*, 2021; DIAS, 2022).

A calda de cimento para injeção é um dos exemplos de compósito cimentício de larga utilização na construção civil (MABABA, 2020). Essa calda tem aspecto pastoso e é formada por cimento, aditivos e água (DUARTE, 2021), sendo comumente empregada para preencher vazios, em estruturas tais como solos, paredes de cortina de barragem, bainhas de estacas, reparos de rachaduras em paredes de alvenaria, dutos de armaduras de protensão de peças de concreto, entre outros, com o objetivo de diminuir a permeabilidade e aumentar a resistência mecânica (PIPOLO *et al.*, 2023).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Construção - SNIC, o consumo brasileiro de cimento em 2022 foi de aproximadamente 62,8 milhões de toneladas, resultando em uma produção nacional de aproximadamente 63.5 milhões de toneladas. A região Sudeste liderou com cerca de 46,2% da participação, seguida pelo Nordeste, com 20,2% (SNIC, 2023). A tendência desse consumo no país é cada vez mais crescente. Só no mês de agosto deste ano (2023), o consumo nacional de cimento teve um aumento de 1,4% em comparação a agosto de 2022 (ABCP, 2023). Estima-se que até o ano 2050, as indústrias produzirão cerca de 6 bilhões de toneladas de cimento no mundo (CEMBUREAU, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

Diante dessa situação e considerando o cimento Portland, como o material mais consumido na construção civil, dados divulgados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTIC (2020) apontam que somente no Brasil, em 2020, a indústria de cimento foi responsável por quase 30% das emissões de CO₂, decorrentes da sua fabricação e, mundialmente, com base na Global Cement and Concrete Association - GCCA, cerca de 7% das emissões globais (GCCA, 2022). O CO₂ é o gás de efeito estufa (GEE) mais emitido diariamente na atmosfera. Portanto, a produção de cimento para construção civil, tem sido identificada como um dos

principais fatores de geração de gases de efeito estufa (CHEN, 2019; PLAZA *et al.*, 2020; CAETANO, 2021; URATANI; GRIFFITHS, 2023).

Uma pesquisa global realizada pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Internacional de Energia (IEA), sobre a produção de gases de efeito estufa na fabricação de cimento, mostra que, em média para cada quilograma de cimento Portland produzido, aproximadamente 0,8 kg de CO₂ são liberados na atmosfera (CBCS, 2014; CECHIN *et al.*, 2022; PINHEIRO *et al.*, 2023). Essas emissões são decorrentes da decomposição do calcário, matéria prima do cimento, e da queima de combustíveis fósseis utilizados na produção de cimento. Considerando também as demais atividades da indústria da construção, essas emissões representam 36% das emissões totais de GEE, (KALIYAVARADHAN *et al.*, 2018; PNUMA; UNEP, 2020; SALOMONS, 2023; GUO *et al.*, 2024), e a 30% do consumo global de energia (IEA, 2023).

Nos últimos anos, a busca pelo desenvolvimento de materiais capazes de reduzir a emissão de CO₂ oriundo da construção civil, tem atraído a crescente atenção de pesquisadores e das indústrias, sendo cada vez mais frequente nos debates políticos globais (BENHELAL *et al.*, 2021; GUO *et al.*, 2024). Estabelecer metas de redução da produção do cimento em 16% até 2030 para alinhar o setor com Acordo de Paris tem sido uma das estratégias (LEHNE; PRESTON, 2018; SKINNER; LALIT, 2023). Assim, estão sendo estudadas alternativas para substituir total ou parcialmente o cimento Portland, por materiais sustentáveis de alto desempenho, que atuem diretamente na microestrutura do compósito cimentício, permitindo uma maior durabilidade, sem prejuízo de dos requisitos técnicos (BITTENCOURT, 2016; GALVÃO *et al.*, 2018; BRASIL, 2019; CABRAL, 2020; SILVA, 2022; LV *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, destacam-se materiais de origem biológica, que estão sendo incorporados em compósitos cimentícios como substituto parcial do cimento Portland, minimizando os impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade (CABRAL, 2020; PIPOLO, 2021). Neste cenário, os biopolímeros, como a quitina e quitosana, ganham destaque por serem extraídos de fontes naturais como crustáceos, plantas, fungos e outros organismos presentes na natureza, e por suas características

de sustentabilidade, atoxicidade, biocompatibilidade e versatilidade de aplicação (PAKDEL; PEIGHAMBARDOUST, 2018; ASHRAFIZADEH *et al.*, 2021; ORTIZ *et al.*, 2021; LIMA, 2022).

A quitosana, derivada do processo de desacetilação da quitina, é amplamente empregada em diversos setores industriais e tecnológicos há quase setenta anos, destacando-se pela sua notável biocompatibilidade, biodegradabilidade e bioatividade (REGO 2022; ROLIM, 2018; DIMA; ZARITZKY, 2019; ISSAHAKU, TETTEH; TETTEH, 2023).

No setor da construção civil, a aplicação da quitosana tem sido alvo crescente de estudos, especialmente em relação ao seu papel na formação de produtos hidratados do cimento Portland (SANTOS, 2019; MABABA, 2020; PIPOLO *et al.*, 2023). De modo geral, os estudos mostram uma melhoria nas propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios, com a utilização da quitosana como substituta parcial do cimento (ARSLAN *et al.*, 2019; BEZERRA *et al.*, 2011; LASHERAS-ZUBIATE *et al.*, 2012; SANTOS, 2019; ASHASSI-SORKHABI; KAZEMPOUR, 2020).

No estudo de Santos (2019), a incorporação de 0,1% de quitosana nas amostras de concreto, revelou uma melhoria na resistência à compressão em testes realizados aos 28 dias de idade. Além disso, esse mesmo estudo apontou um aumento na resistência à tração de aproximadamente 14% em comparação ao concreto padrão. O trabalho de Ortiz *et al.* (2021), analisa o desempenho do concreto armado frente à corrosão, aplicando um revestimento de quitosana na armadura, com uma proporção de 0,03%. Os resultados obtidos foram positivos, indicando que as amostras com quitosana apresentaram melhorias significativas nas propriedades estruturais devido à formação de um revestimento de proteção contra a corrosão da estrutura do concreto armado durante a exposição das armaduras.

Choi *et al.* (2022) investigaram a aplicabilidade de um polímero à base de quitosana (CBP), em argamassas de cimento utilizando escória de aço como agregado miúdo, como um agente melhorador. Os resultados indicaram que o CBP contribuiu para aumentar tanto a resistência à compressão quanto à tração.

Recentemente, Silva *et al.* (2023), conduziram um estudo no qual demonstraram que a incorporação da quitosana em pó em diferentes proporções no concreto resultou em ganhos significativos de resistência à compressão e à tração, especialmente quando a quitosana foi adicionada numa proporção de 0,1% da massa de cimento Portland.

A utilização da quitosana nos compósitos cimentícios tem sido cientificamente explorada com o intuito de compreender melhor suas características, e aplicá-las de acordo com as normas, de forma a incluir especificações e procedimentos que venham a garantir qualidade e segurança de modo geral. Dessa forma, cada percentual de adição de quitosana incorporado ao compósito deve ser totalmente avaliado, quanto ao cumprimento de todas as exigências das normas padrões vigentes para cada tipo de compósito. Até a escrita do presente trabalho, não foram encontrados na literatura, estudos que relatem o uso da quitosana em calda de cimento para injeção, sendo este um aspecto inovador do presente trabalho: desenvolver um compósito cimentício sustentável para utilização como calda de cimento para injeção, que poderá gerar uma redução na produção/consumo de cimento, sem prejuízo das propriedades e características padrões. O presente trabalho é portanto, objeto de patente submetida ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial).

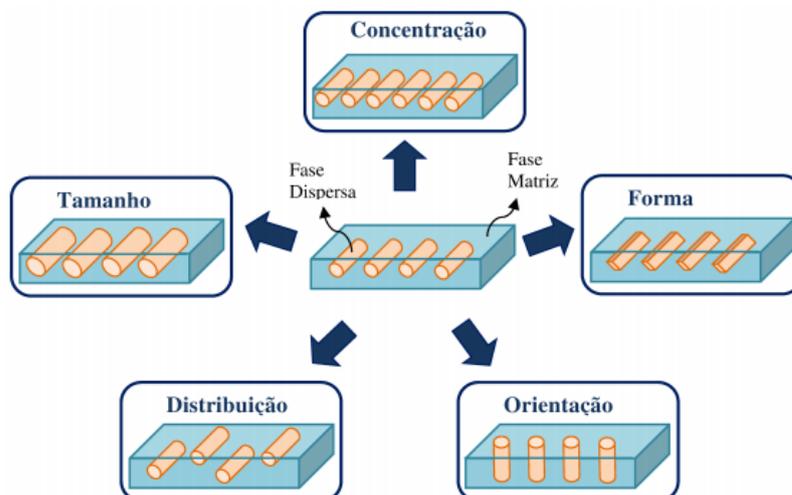
1.1 CALDA DE CIMENTO PORTLAND PARA INJEÇÃO

Materiais compósitos resultam da combinação de dois ou mais materiais, cujas propriedades individuais não são as mesmas propriedades dos compósitos (LIMA, 2019). A calda de injeção é um compósito cimentício formado pela mistura de cimento, água, adições e eventuais aditivos (GALVÃO, 2021).

As propriedades dos materiais compósitos derivam de suas fases constituintes, que podem ser categorizadas como fase matriz, a qual desempenha o papel crucial de manter o compósito coeso, tendo como principais componentes os materiais cerâmicos, poliméricos ou metálicos, e a fase dispersa/componente de

reforço, tipicamente composta por materiais fibrosos, tais como fibras de vidro, fibra de carbono, fibras naturais, dentre outros que melhoram a sua resistência e rigidez (PAN, 2017; ALPES, 2019; ARANTES, 2020; GALVÃO, 2021; VEIGA, 2022). Essas fases distinguem-se em escala de microestrutura ou de macroestrutura, pelas quantidades relativas e pela geometria da fase dispersa (SOARES, 2021). Em síntese, as fases dispersas evidenciam resistência e baixas densidades, enquanto a matriz se caracteriza como um material dúctil ou tenaz (SOUZA, 2018; SILVA, 2019). Segue na Figura 1 a representação esquemática para facilitar a compreensão da composição destas fases.

Figura 1 - Representação esquemática das propriedades geométricas.



Fonte: Souza (2018 p, 7)

Para compósito cimentício do tipo “Calda de cimento” a norma NBR 7681-1 define-o como um material resultante da mistura adequada de cimento Portland, água e eventuais aditivos e/ou adições minerais, destinado ao preenchimento de bainhas ou dutos de armaduras de protensão (ABNT, 2013).

Caracterizada como uma suspensão de partículas sólidas de cimento e mistura de água, a calda de cimento pode apresentar propriedades de fluido viscoso ou até mesmo de material rígido com atrito, dependendo do teor de água utilizada (DOMES, 2015). Com base na ABNT NBR 7681-1, a relação água/cimento da calda de injeção deve ser inferior ou igual a 0,40, e o cimento a ser empregado deve atender aos

seguintes requisitos: teor de cloro/cloretos menor ou igual a 0,10%; teor de enxofre/sulfetos menor ou igual a 0,20%; e temperatura máxima para aplicação de 40°C (ABNT, 2013).

Além disso, para possibilitar uma ampla aplicação da calda de cimento, é fundamental que ela apresente alta fluidez e plasticidade (SOARES, 2021), permitindo sua utilização em diferentes casos, tais como o preenchimento de vazios em rochas fissuradas, em aluviões, bainhas de estacas, na estabilização de solos em muros, taludes, córregos, dentre outros.. Suas características podem ser aprimoradas de acordo com as demandas específicas, seja para melhorar propriedades específicas, tais como aumentar a estanqueidade ou a resistência, assegurar a estabilidade estrutural ou proteger armaduras ativas contra a corrosão (ROSA, 2020).

A fluidez da calda é influenciada pela natureza e finura (tamanho médio de partículas) do cimento Portland, pelo teor de água, adições minerais e eventuais aditivos utilizados. Logo, torna-se importante destacar a necessidade de atenção à escolha da relação água/cimento, uma vez que o excesso de água pode acarretar exsudação, além de aumentar a retração ou até mesmo reduzir a resistência e a durabilidade do compósito (TEIXEIRA, 2014; FAUSTINO, 2021).

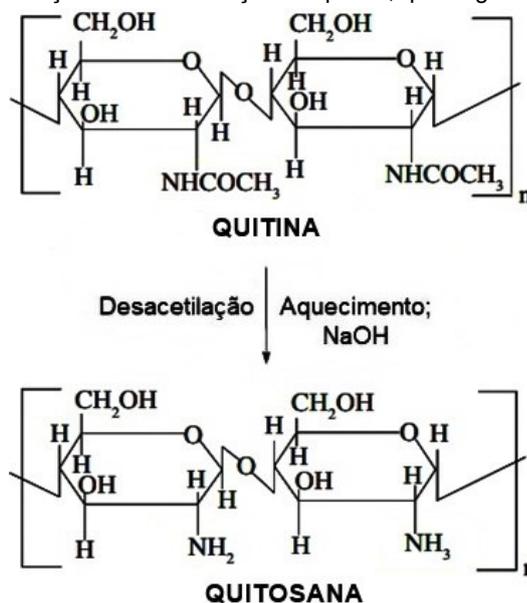
1.2 QUITOSANA

A quitosana é um biopolímero derivado do processo de desacetilação da quitina, material esse encontrado nos exoesqueletos dos animais marinhos, principalmente em lagostas, caranguejo e camarão. Além disso, é possível encontrá-la também em artrópodes (insetos), e em microrganismos (na parede celular de fungos, leveduras etc.). A quitina é considerada o segundo polissacarídeo natural mais abundante (depois da celulose) em termos de quantidade produzida anualmente (BERGER *et al.*, 2020; BRIGODE *et al.*, 2020; NOVIKOV *et al.*, 2023).

Estruturalmente, a quitosana é caracterizada como um copolímero linear do tipo poliaminossacarídeo, adquirido mediante um processo de purificação e N-desacetilação. Este processo ocorre por meio de uma reação de hidrólise básica da quitina, um procedimento termoquímico que utiliza hidróxido de sódio (NaOH) em altas

temperaturas, com o intuito de promover a desacetilação (Figura 2) (KRITCHENKOV, 2020).

Figura 2 - Reação de desacetilação da quitina, que origina a quitosana.



Fonte: Adaptado de Rolim (2018 p.4)

Constituída por unidades β -1,4 D-glucosamina ligadas a resíduos de N-acetilglucosamina, a quitosana ($C_6H_{11}O_4N$) é designada como polímero, representado pela cadeia de resíduos de D-glucosamina β (1-4) 2-amino-2-deoxi-D-glucose e N-acetil-D-glicosamina (β (1-4) 2-acetoamido-2-deoxi-D-glucose). O número de resíduos de N-acetil-D-glicosamina β (1-4) 2-acetoamido-2-deoxi-D-glucose reflete seu grau de acetilação, que é uma propriedade de fundamental importância. E a quitina ($C_8H_{13}O_5N$), que por sua vez, apresenta uma sequência linear contendo uma longa cadeia de resíduos N-acetilglicosamina (2-acetamido-2-deoxi-D-glucose) unidas por ligações do tipo β -(1-4), com alto grau de acetilação. A diferença entre a quitina e quitosana ocorre devido à desacetilação na posição do carbono-2 de cada unidade glicosídica (YOUNES, 2015; YADAV *et al.*, 2019; PEERS; MONTEBAULT; LADAVIÈRE, 2020; NOVIKOV *et al.*, 2023).

1.2.1 Produção de quitosana

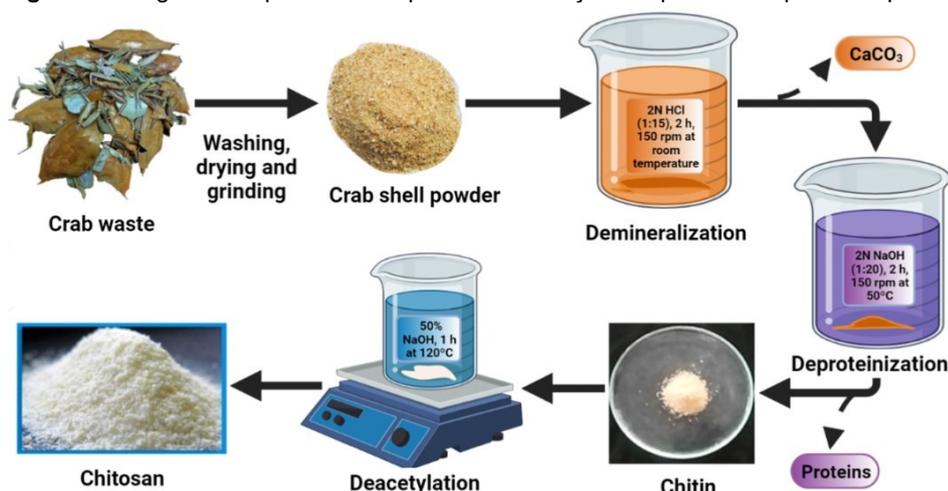
Em 1811, Henri Braconnot, um professor francês dedicado à pesquisa com cogumelos, descobriu a quitina, inicialmente designada como fungina. A denominação

“quitina” foi atribuída apenas em 1823 por Odier, quando esta substância foi isolada de insetos. No entanto, apesar da descoberta, ao longo de muitos anos, uma controvérsia surgiu em relação à natureza desse novo material, devido à quitina ter apresentado muitas semelhanças estruturais com a celulose, diferenciando-se somente nos grupos funcionais (presença de grupos acetamida). A resolução dessa controvérsia ocorreu somente em 1843, quando Payer, descobriu que a quitina continha nitrogênio em sua estrutura. A quitina e a celulose possuem estruturas químicas parecidas. Contudo, na celulose, não há nitrogênio. A principal diferença estrutural entre os polímeros celulose e quitina é a presença de grupamentos acetamida na quitina, os quais estão ausentes na celulose. Ambas, celulose e quitina, destacam-se como os biopolímeros de ocorrência natural mais abundantes (MOURA, 2017; NUNES, 2021; SOUSA, 2022).

Posteriormente, ocorreu a descoberta da quitosana em 1859 pelo francês Charles Rouget após tratamento da quitina com hidróxido de potássio. Nesse processo, verificou-se que a substância formada, ao contrário da quitina, se dissolvia em soluções ácidas. Porém, o nome “quitosana” em si só foi atribuído 35 anos após este fato, pelo alemão Felix Hoppe-Seyler (TIAN; LIU, 2020). O processo de fabricação industrial da quitosana teve início por volta de 1971, no Japão e nos Estados Unidos (EUA). No Brasil, a comercialização em larga escala da quitina e quitosana só ocorreram somente em meados de 1993 (ABRAM, 2004; SANTOS, 2019; LIMA, 2022).

O processo para obtenção da quitosana pode ser realizado de diversas formas, como: por extração química, biológica, assistida por enzimas, entre outras. A obtenção de quitosana por extração química, é a mais comumente utilizada e envolve o uso de solventes alcalinos e ácidos em altas temperaturas para o processo de desproteínização (EL KNIDRI *et al.*, 2019). A representação desse processo está ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama esquemático do processo obtenção da quitosana a partir da quitina.



Fonte: Mohan *et al.* (2022 p. 5)

Após a moagem dos crustáceos, inicia-se o tratamento químico para promover a desmineralização, a desproteínização e a despigmentação, resultando na quitosana (CS) em sua forma desacetilada. Geralmente, a etapa de desmineralização é conduzida através de um tratamento com ácido clorídrico (HCl) em diferentes concentrações. Na fase de desproteínização, utiliza-se hidróxido de sódio (NaOH); entretanto, outras soluções alcalinas também podem ser empregadas. Já com relação à despigmentação, o tratamento é feito com etanol ou acetona, mas em caso de optar por um branqueamento, pode-se utilizar, por exemplo, hipoclorito de sódio (NaOCl) ou permanganato de potássio (KMNO₄). Em seguida, o material é submetido a um processo de secagem para obter a quitina. Posteriormente, a partir dessa quitina, mediante a desacetilação, os grupamentos amida sofrem hidrólise em soluções ácidas ou alcalinas, resultando no surgimento da quitosana em sua forma desacetilada, que tem caráter hidrofílico e catiônico (SHAFABAKHSH *et al.*, 2020; MOHAN *et al.*, 2021; LIMA, 2022; ISSAHAKU; TETTEH, 2023).

Durante o procedimento termoquímico para a obtenção da quitosana, conforme ilustrado na Figura 2, ocorre a reação de desacetilação, transformando os grupos acetamida (-NHCOCH₃) da quitina em grupos amino (-NH₂) em graus variados. Em outras palavras, é partir da desacetilação da quitina, na retirada do grupo acetila (NHCOCH₃) por meio de tratamento químico, com uma solução concentrada de hidróxido de sódio (NaOH), que resulta em estruturas repetidas de β-(1-4) 2-

acetamido-deoxi-D-glicose (N-acetilglicosamina), ou melhor, D-glucosamina produzindo a quitosana (ROLIM, 2018; BERGER *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2023).

Essas concentrações do hidróxido de sódio, o tempo e temperatura de reação para desacetilação, influenciam o grau de pureza e as propriedades físico-químicas e biológicas da quitosana. Entre essas propriedades destacam-se: a variação da massa molar, da cristalinidade, na absorção de água, taxa de degradação, solubilidade, propriedades mecânicas entre outras. Com isso, quanto maior o grau de desacetilação, menor será a quantidade de grupamentos acetamida, predominando o grupo amina na estrutura da quitosana (CASTELLÓ, 2018; COSTA, 2019; SOBREIRA *et al.*, 2020).

1.2.2 Propriedades e Aplicações

Apesar de sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade, a quitosana manifesta algumas limitações em sua utilização. Às vezes, dependendo do objetivo, torna-se necessário alterar quimicamente a quitosana. Essas modificações podem aumentar a afinidade por íons metálicos e surfactantes, melhorando a adsorção e o efeito bacteriostático, sem prejudicar sua mucoadesividade, biocompatibilidade e biodegradabilidade (PANDA *et al.*, 2022; PAL *et al.*, 2021).

A quitosana em suas características físicas, é sólida com uma estrutura irregular típica de um polímero semicristalino. Possui baixa cristalinidade, proporcional ao grau de desacetilação (GD), ou seja, quanto mais desacetilada ela for, menos cristalina se apresenta. Em meio, é relevante destacar que uma das suas vantagens mais interessantes, é capacidade de ser modificada fisicamente, possibilitando sua preparação em diferentes formas, tais como pó, flocos, nanopartículas, esponjas, filmes, fibras entre outras (VITALI *et al.*, 2008; MOHAN *et al.*, 2021; KAUFMANN, 2022).

A quitosana, em suas propriedades físico-químicas revela-se insolúvel em água, na maioria dos solventes orgânicos e em bases, mas, é solúvel na maioria das soluções de ácidos orgânicos e inorgânicos em valores de pH inferiores a 6,0. Dentre

os ácidos normalmente utilizados, temos o acético e fórmico, nos quais, em meio ácido diluído, ocorre à formação de um polímero catiônico por meio da protonação do grupo amino, resultando na geração do íon NH_3^+ . Essas características conferem à quitosana propriedades peculiares, com as quais se diferenciam, por exemplo, das fibras vegetais. Assim, nota-se que a atividade da quitosana aumenta à medida que o pH do meio diminui, como consequência da ionização dos grupos aminoácidos presentes na cadeia polimérica (CHAWLA, 2001; CAMPELO, 2015; SANTOS, 2019; SATANA, 2020; MILIÃO *et al.*, 2022).

Assim, o fato de a quitosana apresentar facilidade em ser modificada, sem prejuízo de suas propriedades, pode explicar o interesse crescente dedicada a quitosana e suas aplicações por parte de pesquisadores e indústrias de diversos setores. tais como: a indústria farmacêutica, alimentícia, engenharia de tecidos, produção de cosméticos, construção civil, entre outros (PAL *et al.*, 2021; PETROVIC *et al.*, 2023).

1.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND

A sustentabilidade simboliza uma das urgências prementes na sociedade contemporânea. Esse assunto está presente nas mais diversas áreas de planejamento e setores econômicos. Na construção civil, por exemplo, são grandes as consequências e impactos socioambientais resultantes das elevadas taxas de emissão de CO_2 na atmosfera (JUNG, 2022).

Comparado com qualquer outra indústria, o setor da construção é o maior consumidor global de recursos e matérias-primas, representando aproximadamente 50% desse consumo (SILVA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2023). Além disso, o setor é responsável por cerca de 7% das emissões globais de dióxido de carbono, geradas durante o processo de fabricação do cimento Portland (IEA, 2023). Este processo é resultante da descarbonatação do calcário na etapa de calcinação do clínquer ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), como na utilização de combustíveis fósseis para aquecimento do forno para clínquerização. Neste contexto, é cabível ressaltar que, para cada tonelada

de clínquer produzida, há uma emissão estimada de 850 kg/CO₂ (GARCÍA, 2017; CZIGLER *et al.*, 2020; MOHAMAD *et al.*, 2021).

Em virtude desses fatos, a sustentabilidade tornou-se uma temática recorrente de relevância global ao longo dos últimos anos. Como consequência disso, a busca por materiais, metodologias inovadoras, técnicas e especialização da mão de obra, com o propósito de diminuir tais impactos e atender às necessidades contemporâneas, têm crescido gradativamente (COSTA, 2020; VEIGA, 2022).

Nesse aspecto, movimentos e acordos internacionais comprometidos com a redução das emissões de CO₂ têm se manifestado, como evidenciado pela atuação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), criada em 1961, com sede em Paris (França), e composta por 38 países e 5 parceiros estratégicos (incluindo o Brasil). Essa organização internacional tem se dedicado ao longo dos anos em encontrar soluções para os desafios ambientais por meio de estratégias políticas, tecnologias, entre outros meios.

À vista disso, a Agência Internacional de Energia (IEA), relata a necessidade da diminuição das emissões de CO₂ em 3% ao ano até 2030 para alcançar a neutralidade climática, ou seja, zerar a emissão de dióxido de carbono até 2050. Tal iniciativa visa, conseqüentemente, reduzir a geração de gases de efeito estufa (GEE), apresentando-se como um ponto que requer solução urgentemente (IEA, 2023).

Posto isso, uma das alternativas no setor da construção civil para minimizar este impacto, é a utilização de adições químicas e minerais como substituições parciais ao cimento (GARCÍA, 2017; CZIGLER *et al.*, 2020). Adições, nesse caso, refere-se a qualquer material, excluindo água, agregados e cimento, utilizado como parte do compósito cimentício e adicionado à massa imediatamente ou durante a mistura, para somar ou até mesmo substituir, parcialmente, a matéria-prima cimento (devido às suas características similares aos do cimento) (BERTEQUINI; MACHI; DONÁ, 2019).

O uso das adições minerais, por exemplo, pode contribuir de diversas maneiras para a melhoria da durabilidade nas condições de serviço, vantagens econômicas e

conservação dos mais variados recursos naturais (SOUZA, 2022). De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2019), a utilização de subprodutos sustentáveis gerados de outras atividades e matérias-primas alternativas, como adições em misturas cimentícias, já é realizada no Brasil há mais de cinco décadas.

A utilização de escolhas sustentáveis, segundo o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS, deve inicia-se com a busca de materiais menos agressivos, mas duráveis, e que exijam o menor impacto possível em seu processo de obtenção e implantação, de modo que não venha a comprometer as necessidades das gerações futuras (CEBDS, 2018; SEBRAE, 2022).

Atrelado a isso, temos o exemplo da quitosana, considerada uma adição de grandes características. Aliado ao fato de ser um recurso natural, renovável e abundante, extraído das carapaças dos crustáceos, a quitosana possui excelentes características de biocompatibilidade, biodegradabilidade e a não toxicidade. Assim, devido essas propriedades, ela tem sido alvo de investigação em diversos campos de aplicação, incluindo a indústria da construção, onde se apresenta como um material promissor para o desenvolvimento de compósitos cimentícios.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PRESENTE TRABALHO

O cimento Portland é o principal aglomerante básico da construção civil, sendo utilizado na fabricação de pastas, argamassas e concretos devido às suas características que possibilitam a moldagem e aplicação em uma ampla diversidade de estruturas (NASCIMENTO, 2022). Porém, a sua utilização desenfreada tem resultado em sérios problemas ambientais, como a emissão da grande quantidade de CO₂ liberado durante calcinação do calcário para produção do clínquer (GUO *et al.*, 2024).

Diante deste cenário, torna-se evidente a necessidade de buscar materiais que ofereçam alternativas sustentáveis ao cimento. Nesta perspectiva, pesquisas (SANTOS, 2019; CHOI *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2023), demonstram resultados relevantes no que diz respeito ao uso da quitosana como substituta parcial do cimento nos compósitos, devido à sua aplicação poder melhorar as propriedades físico-

mecânicas e de durabilidade quando incorporadas nas matrizes cimentícias (PINHEIRO *et al.*, 2021; NASCIMENTO, 2022).

Com o propósito apresentar o trabalho realizado, essa dissertação foi dividida em 5 principais capítulos, além das referências bibliográficas, anexos e apêndices. No presente capítulo 1 é feita uma introdução ao tema da presente dissertação, abordando seus aspectos gerais, seguida de uma revisão de literatura para fundamentar a introdução ao tema. O Capítulo 2 foi dedicado aos objetivos geral e específicos. No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia utilizada nas atividades experimentais do trabalho. O Capítulo 4 apresenta, discute e fundamenta os resultados os obtidos. No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho, relacionando os objetivos esperados inicialmente com os resultados alcançados. Além disso, neste mesmo capítulo, são abordadas algumas possibilidades e perspectivas futuras, desenvolvidas a partir das experiências adquiridas na realização do presente trabalho.

2 OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, produzir e caracterizar calda de injeção com substituição parcial do cimento Portland por quitosana, sem, entretanto, deixar de atender aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7681:2013.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

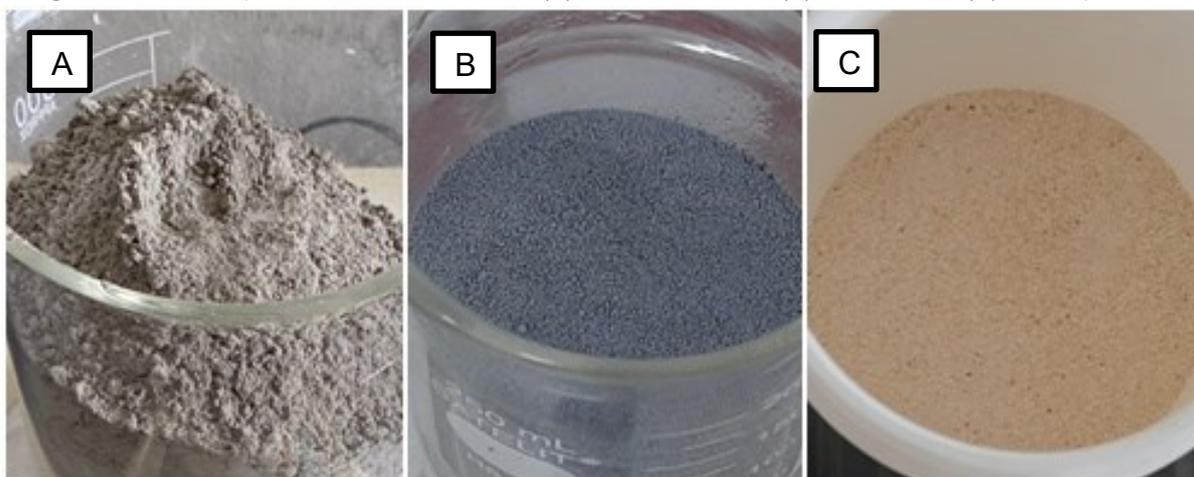
- Avaliar o desempenho da quitosana na determinação do índice de fluidez e vida útil da calda de cimento de acordo com a ABNT NBR 7681:1 - 2013;
- Examinar a influência da adição da quitosana na resistência mecânica à compressão na pasta de cimento conforme as normas ABNT NBR 7681:1:2013 e 7215:2019;
- Verificar as interações microestruturais entre quitosana e cimento, na calda de injeção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados no presente trabalho para a produção da calda de injeção foram: cimento Portland (CP II-F 32), sílica ativa, pó de quitosana, aditivo plastificante e água destilada. A Figura 4, apresentada a seguir, ilustra alguns desses materiais citados.

Figura 4 - Matérias-primas usadas no trabalho: (A) Cimento Portland; (B) Sílica Ativa e (C) Pó de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

3.1.1 Cimento (Aglomerante)

O cimento CP II - F 32 utilizado para a produção do compósito é sugerido pela NBR 7681-1: 2013, para produção da calda de cimento para injeção e sua escolha deve-se também ao fato de ser um aglomerante com baixo teor de adições, em comparação com outros cimentos, além de ser versátil, com trabalhabilidade adequada às mais diversas aplicações, ser constituído por pelo menos 90% de clínquer, sendo o mais adequado quanto às exigências aos parâmetros químicos, físicos segundo a NBR 16697:2018 – Cimento Portland comum e pelo fato de ser facilmente encontrado na região,

O cimento CP II-F 32 foi fabricado pela empresa NACIONAL de acordo com as exigências da Norma Técnica Brasileira - NBR 16697 (ABNT, 2018) e é composto

por silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio e material carbonático. Os limites de porcentagem de massa para sua composição, estão descritos na Tabela 1, conforme especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 1 - Porcentagem de massa para composição do CP II-F-32.

PORCENTAGEM DE MASSA (LIMITES DE COMPOSIÇÃO)		
DESIGNAÇÃO NORMALIZADA (SIGLA)	CLÍNQUER + SULFATOS DE CÁLCIO	MATERIAL CARBONÁTICO
Cimento Portland Composto com material pozolânico (CP II – F)	75 - 89	11 -25

Fonte: Adaptado pela autora da NBR 16697 (ABNT, 2018)

Com base no que estabelece as normas, apresenta-se na tabela 2 as principais características do cimento Portland CP II F - 32, obtidas a partir da caracterização física e química com base na ficha-técnica fornecida pelo fabricante, que está no Anexo A. Ademais, o cimento foi caracterizado por meio das técnicas FRX, MEV/EDS, DRX e FTIR para melhor compreender sua interação com a quitosana.

Tabela 2 - Principais características do Cimento Portland (CP II-F 32) usado na produção das amostras.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES		RESULTADOS
SO ₂ (%)		2,70
MgO (%)		2,43
Massa específica (g/cm ³)		3,00
Finura Blaine (cm ² /g)		4,030
Tempo de pega (min)	Início	175
	Fim	235
Resistência à compressão (Mpa)	3 (Mpa)	≥10,0
	7 (Mpa)	≥20,0
	28 (Mpa)	≥32,0

Fonte: Adaptado de (CIMENTO NACIONAL, 2021)

3.1.2 Sílica Ativa (Adição mineral)

Como adição mineral para esse trabalho, foi empregada a sílica ativa, produzida pela empresa FERBASA, localizada em Pojuca, BA. A escolha pela sílica ativa foi motivada, principalmente, pelo fato dela proporciona maior fluidez e

durabilidade ao compósito cimentício. Os principais ensaios realizados para a caracterização deste material estão listados na tabela 4, conforme a ficha-técnica fornecida pela empresa, disponível no Anexo B.

Tabela 3 - Principais características físicas e químicas da sílica ativa.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
Diâmetro Médio	0,40 μm
Perda de Fogo	$\leq 6\%$
Teor de Na_2O	$\leq 1,5$
Densidade Aparente	150 -700 Kg/m^3
Formato da Partícula	Pó de dimensões micrométricas
pH	$\leq 10,0$
Área Especifica B.E.T.:	$\geq 15.000 \leq 30.000 \text{ m}^2/\text{kg}$

Fonte: Adaptado de (FERBASA, 2023)

De acordo com as informações disponibilizadas pela empresa e no produto, esse material segue em conformidade com os requisitos estabelecidos pela NBR 13956:1997 Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta (ABNT, 2012). possui um pH $\leq 10,0$ e uma densidade aparente de 150 -700 kg/m^3 . Derivado do processo de produção do silício metálico e das ligas de ferro silício em fornos elétricos, a sílica ativa tem aparência de pó, com dimensões micrométricas de aproximadamente 0,40 μm na cor cinza claro.

A ABNT NBR 13956:1997 estabelece as condições exigidas para a sílica ativa nos compósitos, seja no estado original, densificada ou em dispersão aquosa, bem como seu emprego de adição durante a fabricação do cimento Portland, métodos de ensaios químicos e outros. Na Tabela 4, estão descritas algumas das exigências químicas e físicas solicitadas pela NBR 13956-1 (ABNT, 2012).

Tabela 4 - Requisitos químicos e físicos que a sílica ativa deve atender.

Determinação	Unidade	Limite	Método de ensaio
SiO ₂ ^a	%	≥ 85,0	ABNT NBR 13956-2
Umidade ^b	%	≤ 3,0	
Perda ao fogo ^a	%	≤ 6,0	
Equivalente alcalino em Na ₂ O ^a	%	Informar	
Teor de sólidos na dispersão aquosa ^c	%	Não pode variar mais do que ± 2 % do valor declarado pelo fabricante	
Índice de desempenho com cimento Portland aos 7 dias	%	≥ 105	ABNT NBR 13956-3
Finura por meio da peneira 45 µm	%	≤ 10,0	ABNT NBR 13956-4
Área específica B.E.T. (opcional) ^d	m ² g ⁻¹	15 ≤ B.E.T. ≤ 30	ASTM C 1069

^a A análise química, incluindo a perda ao fogo, deve ser realizada na base seca, ou seja, após a determinação do teor de umidade a (105 ± 5) °C.
^b Não se aplica à sílica ativa na forma de dispersão aquosa (3.4).
^c Não se aplica à sílica ativa nas formas densificada (3.2) e não densificada (3.3).
^d O ensaio para a determinação da área específica, pelo método da ASTM C 1069, de acordo com o princípio proposto por Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.), substituindo-se alumina e quartzo por sílica ativa, deve ser realizado pelo produtor quando solicitado pelo consumidor.

Fonte: NBR 13956-1 (ABNT, 2012)

3.1.3 Quitosana (Biopolímero)

A quitosana utilizada como substituição parcial do cimento Portland é industrial e foi a em pó, utilizada na forma adquirida, sem qualquer tratamento adicional. Fabricada pela empresa POLYMAR, localizada no município de Fortaleza, estado do Ceará, a quitosana de acordo com o certificado de análise enviado pela empresa, apresenta grau de desacetilação de 85% e pH 8,4.

A tabela 5 apresenta suas principais características físicas e químicas, de acordo com as informações contidas na ficha-técnica fornecida pela empresa (ANEXO C). Com o intuito de aprofundar a compreensão de seu comportamento, a quitosana também foi submetida à caracterização por meio das técnicas MEV/EDS, FRX, DRX e FTIR.

Tabela 5 - Principais características Física, Química e de pH da quitosana usada nas amostras.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
Densidade aparente (g/l)	1,805
Perda por dessecação (%)	3,55
Cinzas totais (%)	1,5
pH	8,4
Grau de desacetilação (%)	85

Fonte: (POLYMAR, 2023)

3.1.4 Aditivo

Para a produção das amostras foi utilizado o aditivo plastificante da QUARTZOLIT, adquirido em lojas de materiais de construção na cidade de Recife-PE. Este material é um produto comercializado em forma líquida e pronto para uso. Segundo a ficha técnica da empresa, apresenta uma massa específica de 1,002 a 1,004 kg/dm³ e um pH de 4,5 a 7,5, atendendo aos requisitos da ABNT NR 11768:2019.

3.1.5 Água

A água destilada adquirida para a confecção das caldas de injeção foi proveniente do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES) localizado no Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

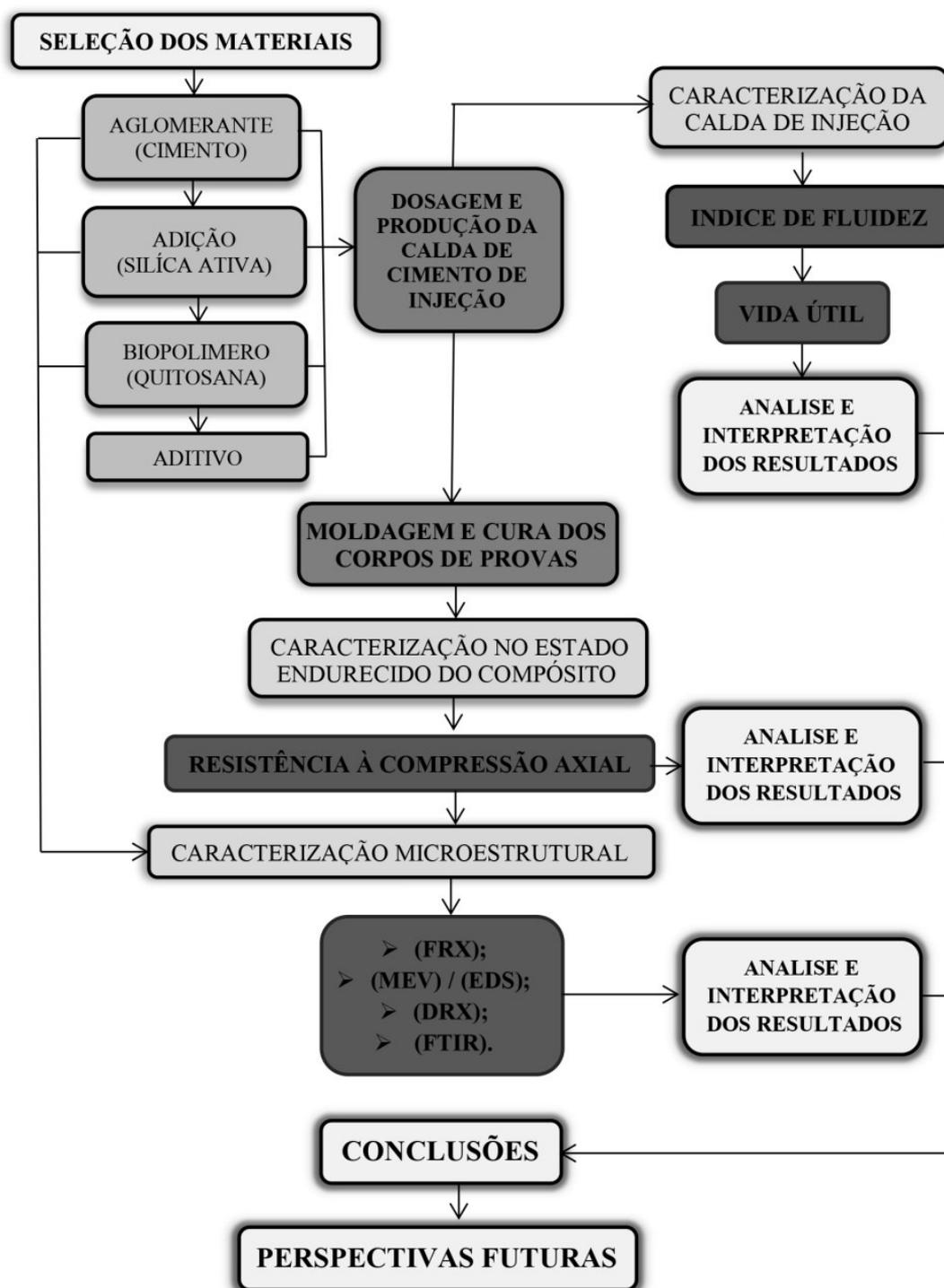
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Além da devida fundamentação na revisão da literatura, o planejamento experimental foi estabelecido de forma a seguir os procedimentos e parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 7681:2013 – Calda de cimento para injeção.

Os materiais e compósitos foram caracterizados conforme as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 5, dividido da seguinte forma: Seleção das matérias-primas; Caracterização microestrutural e química do cimento, da sílica ativa e da quitosana (FRX; MEV/EDS; DRX e FTIR); Realização da dosagem e produção das amostras da calda de injeção - sendo elas padrão, e com o percentual de substituição do cimento por 0,1% de quitosana (O teor utilizado da quitosana foi baseado nos estudos de Santos (2019) e Wang *et al.*, (2022) que analisaram compósitos cimentos com quitosana, apontando um bom desempenho com o teor adotado neste trabalho); Caracterização das caldas ainda frescas (Índice de fluidez e Vida Útil) e, posteriormente após 28 dias, com as amostras no estado endurecido, o ensaio de resistência mecânica à compressão axial e as análises microestruturais

(Microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada à espectroscopia de raios-x por dispersão de energia (EDS), espectroscopia de fluorescência de raio-X (FRX), difração de raios-X (DRX) e espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)).

Figura 5 - Fluxograma das etapas desenvolvidas.



Fonte: A autora (2023)

3.2.1 Ensaio de Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram selecionados de modo a produzir uma calda de injeção capaz de obter bons desempenhos nas propriedades microestruturais e mecânica. Dessa forma, o foco foi prezar pela qualidade desses materiais, analisando sempre suas características, bem como as correlações dos elementos químicos presentes.

As amostras das matérias-primas foram postas em tubos de Eppendorf (Figura 6) e encaminhadas para os laboratórios da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, onde, por meio da técnica de FRX, no Departamento de Geologia, foi analisada a composição química. No Departamento de Física, a morfologia através da técnica de MEV/EDS e a mineralogia por meio de DRX. Os grupos funcionais das moléculas que compõem os materiais foram analisados pela técnica de FTIR na Central Analítica no Departamento de Química Fundamental. Os respectivos procedimentos experimentais dessas técnicas estão descritas nos tópicos 3.2.5.1 à 3.2.5.4.

Figura 6 - Amostras das matérias-primas.



Fonte: A autora (2023)

3.2.2 Produção das Caldas de Injeção

Para a fabricação dos compósitos, inicialmente foram realizados estudos bibliográficos com intuito de obter um entendimento mais abrangente sobre a referida

pesquisa em questão. Em meio a isso, constatou-se, por meio de algumas publicações (TONG *et al.*, 2016; SANTOS, 2019; CABRAL, 2020; WANG *et al.*, 2022) que o teor de adição de materiais mais satisfatório em relação à massa do cimento é o com o percentual de 0,1%. A amostra contendo 0,1% de quitosana, quando comparada a outros percentuais, é a que apresenta melhores resultados com relação à melhora das propriedades mecânicas do compósito cimentício (SANTOS, 2019; WANG *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2023).

Dessa forma, com base nesses estudos, o teor de quitosana optado para substituir o cimento na elaboração da calda de injeção neste trabalho foi de 0,1% em relação à massa do cimento. Logo após essa definição, foram desenvolvidos os traços das amostras, os quais estão reunidos na Tabela 6, tendo como base o percentual do material com relação à massa de cimento correspondente a 1000g. Em seguida realizou-se a fabricação dos corpos-de-prova (CP) juntamente com os ensaios ainda com as caldas frescas e, posteriormente os ensaios no estado endurecido, seguido das análises microestruturais.

Tabela 6 - Dosagem para execução da calda de cimento para injeção.

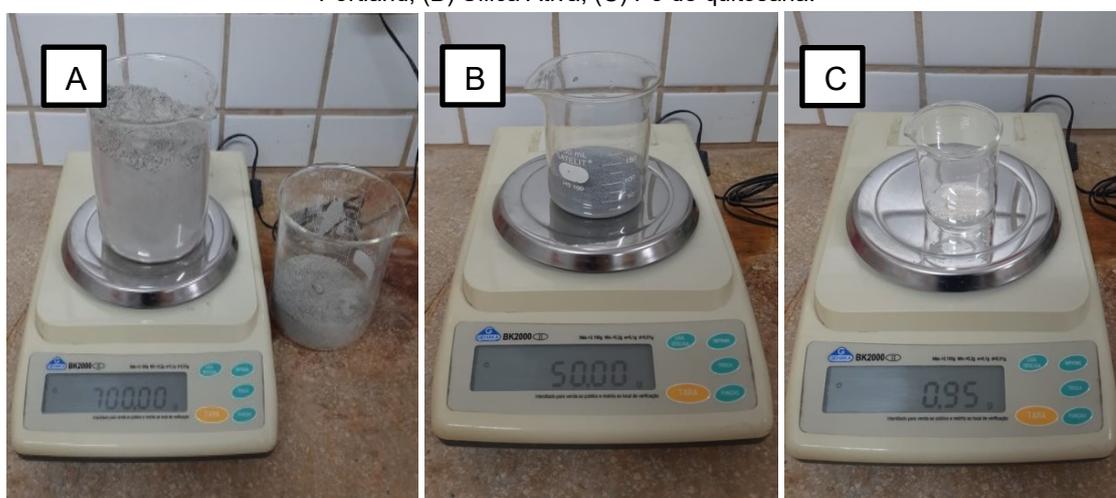
MATERIAL	TEOR DE ADIÇÃO DA QUITOSANA	
	0%	0,1%
Cimento	950g	949,05g
Quitosana	0	0,95g
Sílica	50g	50g
Aditivo	10g	10g
Água	400g	400g
Relação água/cimento	0,42	0,42
Relação água/ligante	0,40	0,40

Fonte: A autora (2023)

Essa dosagem e o processo de mistura foram formulados por meio de uma adaptação fundamentada no que estabelece a ABNT NBR 7681-1: 2013, onde são definidos os requisitos específicos dos materiais constituintes, sua quantidade permitida e o procedimento para realização dos ensaios. Além disso, foram considerados o trabalho apresentado por Gopinathan e Anand (2017), cujo objetivo

foi obter uma calda de cimento com melhor desempenho. Posto isso, fazendo o uso de uma balança com precisão de 0,1 kg da linha GEHAKA BK2000, foi realizada a pesagem dos materiais (Figura 7) seguindo os traços definidos na Tabela 6, mantendo a relação água/ligante fixa em 0,4 para ambos (valor esse determinado como limite máximo na NBR 7681-1: 2013), e o teor de aditivo de 1%, utilizando as seguintes matérias primas: cimento Portland (CP II-F 32); sílica ativa; quitosana; aditivo e água destilada.

Figura 7 - Demonstração da pesagem de algumas das matérias-primas usadas no trabalho: (A) Cimento Portland; (B) Sílica Ativa; (C) Pó de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

Por conseguinte, com a utilização dos seguintes equipamentos e utensílios, conforme estabelece a NBR 7681-1: 2013: recipiente de mistura metálico com tampa e capacidade mínima suficiente para realizar a mistura, isenta de substâncias que possam alterar as características da calda; recipiente metálico para estocagem; misturador metálico com acionamento eletromecânico e haste de metal para homogeneização, com as matérias primas pesadas, iniciou o processo de mistura da calda de injeção.

A pasta de cimento confeccionada foi regida por uma adequação do procedimento da NBR 7681-1: 2013 e do trabalho de Gopinathan e Anand (2017) citado acima. Diante disso, ressalta-se que o processo de mistura destas pastas é bastante diferenciado em comparação com as que são feitas para concretos

convencionais, pois o procedimento e o tempo de mistura são etapas determinantes, tendo sua sequência apresentada no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Sequência de mistura da pasta de cimento.

ETAPA	TEMPO DE MISTURA
1-Introduzir a água no recipiente de mistura e aciona o misturador em baixa rotação.	30 s
2-Com o misturador acionado, acrescentar aos poucos o cimento de maneira lenta e constante, evitando a aglomeração das partículas e logo aumentar a rotação para 1 200 rpm.	1 min e 30 s
3-Em seguida, sem parar o cronômetro, adicionar ao misturador em rotação, a quitosana, também de maneira lenta para evitar aglomeração das partículas.	20 s
4-Sequencialmente, da mesma forma do item 3, adicionar a sílica ativa.	20 s
5- Após a introdução do aglomerante, biopolímero e adição mineral, acrescentar ao misturador o aditivo sem desligá-lo e deixar girar por no mínimo mais os minutos citados ao lado, ou até que atinja o tempo total predeterminado ou fluidez de aplicação desejada.	3 min e 15 s
6-Por último, desligar o misturador e iniciar o ensaio de fluidez.	30 s

Fonte: Adaptada pela Autora da NBR 7681-1 (ABNT, 2013)

Com as caldas já confeccionadas, iniciou-se o processo de moldagem dos corpos-de-prova conforme a NBR 7681-4: 2013. Nesse procedimento, à medida que a calda saía do misturador, ela passava pela peneira com abertura de malha de 2,36 mm, caía no recipiente de estocagem e imediatamente moldava os corpos de prova. Esse processo se repetiu para os dois traços definidos na Tabela 6.

Utilizando oito moldes cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm preparados de acordo com a NBR 7215: 2019, foram moldados quatro corpos de prova para cada mistura (Padrão e 0,1% de quitosana) conforme mostrado nas Figuras 8 e 9, desmoldados após 24 horas e curados por imersão em água por 28 dias. A preferência

por idade de ruptura de até 28 dias, conduziu de acordo com a norma, a qual recomenda que materiais cimentícios tenham uma idade de ruptura de 28 dias para o controle padrão, uma vez que em idades mais avançadas podem ter valores discrepantes, pondo em dúvida os resultados anteriores obtidos.

Figura 8 - Corpos-de-prova com amostras padrão.



Fonte: A autora (2023)

Figura 9 - Corpos-de-prova com amostras com adição de 0,1% quitosana.



Fonte: A autora (2023)

Durante o período de 24 horas, a calda ficou dentro dos moldes, em local arejado e fresco para só depois ser desmoldada. Após esse tempo, as amostras foram submetidas à cura submersa em um tanque com água, seguindo o que determina a ABNT NBR 9479: 2006 - Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova, até atingirem as idades de controle para serem rompidos. Depois do período de cura dos corpos de prova, realizou-se o ensaio mecânico (resistência à compressão axial) e os microestruturais (FRX, MEV/EDS, DRX e FTIR) das amostras.

Figura 10 - Alguns dos corpos-de-prova após serem desmoldados.



Fonte: A autora (2023)

3.2.3 Caracterização da Calda de Injeção

3.2.3.1 Ensaio de Determinação do Índice de Fluidiez da Calda de Injeção

A fluidez do material foi avaliada seguindo o procedimento especificado na ABNT NBR 7681-2: 2013, a qual determina que, para a aferição da calda de cimento, deve ser fazer o uso de um funil de Marsh metálico indeformável, suporte para apoio do funil, proveta graduada com capacidade de 1 000 cm³ e escala de 10 cm³, funil de transferência da calda para proveta, um cronômetro com precisão de 0,01 s e uma peneira metálica com abertura de malha de 2,36 mm, atendendo aos requisitos da NBR NM ISO 3310-1.

Figura 11 - Peneira metálica cm abertura de malha de 2,36 mm.



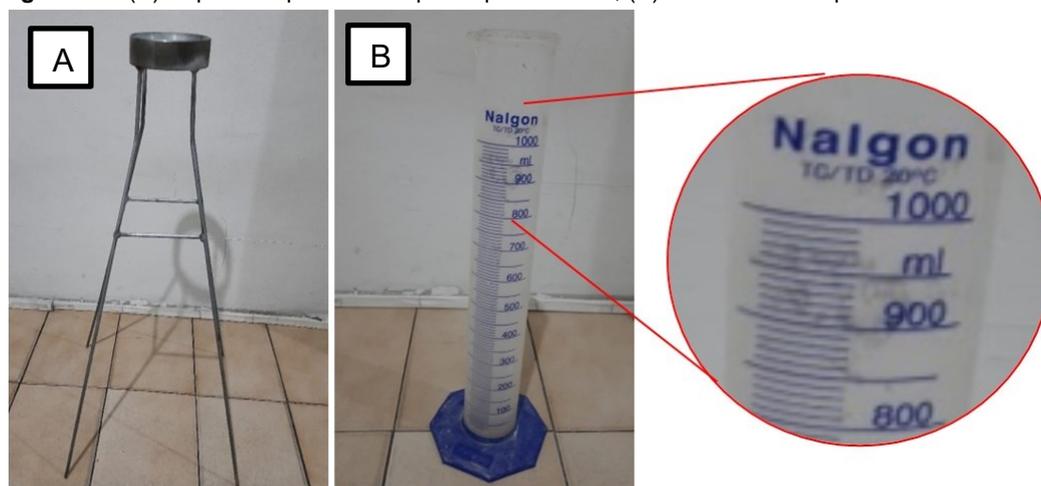
Fonte: A autora (2023)

Figura 12 - Funil Marsh metálico recomendado pela ABNT NBR 7681:2013.



Fonte: A autora (2023)

Figura 13 - (A) Suporte/Tripé metálico para apoio do funil; (B) Proveta com capacidade de 1000 ml.



Fonte: A autora (2023)

Para a determinação do índice de fluidez, o funil de Marsh foi inicialmente colocado sobre o suporte metálico, com a peneira posicionada sobre o funil. A proveta foi então colocada imediatamente abaixo do conjunto (Figura 14 A), em condições niveladas e livres de vibrações. Todos os equipamentos estavam limpos e secos, com exceção do funil, que foi umedecido as paredes internas e, em seguida, manualmente, o bico foi obstruído (Figura 14 B). Somente após esse procedimento, o funil foi preenchido lentamente com a calda de injeção até atingir o volume do funil.

Figura 14 - (A) Equipamento montado para o ensaio; (B) Equipamento com o bico obstruído manualmente.



Fonte: A autora (2023)

Antes de ser submetida ao ensaio, conforme as orientações da NBR 7681-2: 2013, a calda passou previamente pela peneira recomendada, com o objetivo de eliminar qualquer material que viesse obstruir o funil. Somente após esse procedimento, o ensaio que determina a fluidez foi realizado. Em seguida, com o cronometro já preparado, o escoamento da pasta foi liberado, e o tempo necessário para o preenchimento do volume de 1 000 cm³ na proveta foi medido com precisão de 0,01 s. A contagem para à análise da vida útil da calda, foi registrado precisamente no instante em que a calda atingiu o fundo da proveta.

3.2.3.2 Ensaio de Determinação da Vida Útil da Calda de Injeção

O ensaio de vida útil foi realizado imediatamente após o ensaio de determinação do índice de fluidez, utilizando os mesmos procedimentos e a mesma pasta de cimento. porém, foram realizadas medidas sucessivas do índice de fluidez em intervalos de 10 minutos cada, contados a partir do término do preparo da calda, aproveitando-a. Esse intervalo foi estabelecido de acordo com a NBR 7681-2: 2013, que determina a realização de medidas sucessivas do índice de fluidez, com duração máxima de 30 minutos de intervalo, até atingir uma fluidez de 12 segundos, contados a partir da finalização do preparo da calda.

Assim, à medida que se cumpria o intervalo dos 10 minutos estipulados, era realizado um novo ensaio. No entanto, antes de iniciar cada ensaio, a calda que ficava em repouso era homogeneizada para, então, dar continuidade ao procedimento. O ensaio prosseguiu até que a variação do índice de fluidez atingisse a duração de uma fluidez em 12 segundos, uma vez que a vida útil é determinada pelo tempo em que a mistura apresenta ganhos de índice de fluidez.

3.2.4 Caracterização no Estado Endurecido dos Compósitos

3.2.4.1 Resistência Mecânica à Compressão Axial

A caracterização das amostras da calda de injeção no estado endurecido foi realizada através do ensaio de resistência à compressão axial. Para o período de 28 dias, foram ensaiados 4 (quatro) corpos de prova para cada mistura/traço, conforme especificado na Tabela 7. Após o tempo de cura, os CP foram analisados de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 7215:2019.

Tabela 7 - Quantificação dos corpos-de-prova por traço.

RESUMO DO ENSAIO MECÂNICO POR TRAÇO		
TRAÇO/MISTURA	0% PADRÃO	0,1% QUITOSANA
ENSAIO MECÂNICO	Resistência à compressão axial	
IDADE (dias)	28	
QUANTIDADE DE (CP) POR TRAÇO	4	4
TOTAL DE (CP)	8	
TIPOS DE (CP)	Cilíndricos	

Fonte: A autora (2023)

Durante o processo de ruptura, foram tomadas precauções específicas para o nivelamento das superfícies extremas dos corpos de prova. Essas superfícies foram retificadas com o objetivo de diminuir imperfeições vindas da moldagem, garantindo que, ao serem submetidas à prensa hidráulica, a carga aplicada se distribísse ao longo de toda superfície, tanto superior quanto inferior.

Os corpos-de-prova (Padrão e 0,1% de quitosana) foram rompidos utilizando a prensa hidráulica do tipo analógica do fabricante AMSLER, a uma velocidade centrada, com a carga aplicada em relação ao eixo de carregamento de 0,25 + 0,05

(MPa/s). Posicionados com precisão sobre o prato inferior da prensa, os 4 corpos-de-prova de 28 dias de idade da amostra padrão, foram inicialmente ensaiados, seguidos pelos outros 4 corpos de prova, também de 28 dias de idade, mas com adição de 0,1% de quitosana, os quais foram tensionados até a ruptura.

3.2.5 Caracterização Microestrutural

As análises microestruturais das amostras da calda de cimento para injeção (Padrão e 0,1% de quitosana) se sucederam após a caracterização mecânica do ensaio de resistência à compressão axial, rompidos aos 28 dias. Após a ruptura dos corpos de provas, foram removidas pequenas amostras, onde algumas foram trituradas e passadas por um processo de peneiramento, enquanto outras permaneceram em tamanho reduzido. Na sequência, todas as amostras foram armazenadas em tubos de Eppendorf, devidamente identificadas, e encaminhadas aos laboratórios para realização das análises microestruturais.

3.2.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)

A utilização dessa técnica teve com o objetivo analisar as variações nos tamanhos e na morfologia das partículas presentes na amostra, além de identificar os elementos químicos envolvidos no processo de obtenção desses materiais.

Para a realização desta análise, foi necessário preparar as amostras individualmente, submetendo-as a um processo de metalização com ouro (15 nm de espessura) para torná-las condutoras e permitir a passagem de elétrons sobre suas superfícies. Desse modo, com todo cuidado e ferramentas adequadas, as amostras coletadas foram depositadas sob uma fita de carbono fixada acima de um *Stub*, e em seguida, levadas ao metalizador, equipamento do modelo Sputter Coater SCD 050 do fabricante, Balzers (Figura 15). Todo o procedimento foi realizado no Departamento de Física da UFPE.

Figura 15 - (A) Algumas das amostras sob o Stub no equipamento, já metalizadas; (B) Equipamento de metalização.



Fonte: A autora (2023)

Posteriormente, após a metalização, as amostras foram colocadas em um porta-amostras, armazenadas e encaminhadas ao laboratório multiusuário do Programa de Pós-graduação em Ciência de Materiais da UFPE, para a realização da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O microscópio utilizado foi da marca TESCAN, modelo MIRA 3, com detector (SE), acoplado com o espectrômetro de dispersão de energia (EDS) da marca (Ultim® Max, Oxford Instruments, Reino Unido) em modo alto vácuo (4,8 e - 002 Pa) de pressão na câmara, que analisa as fases dos componentes químicos presentes nas partículas (Figura 16).

Figura 16 - Equipamento de MEV da marca TESCAN do modelo MIRA 3.



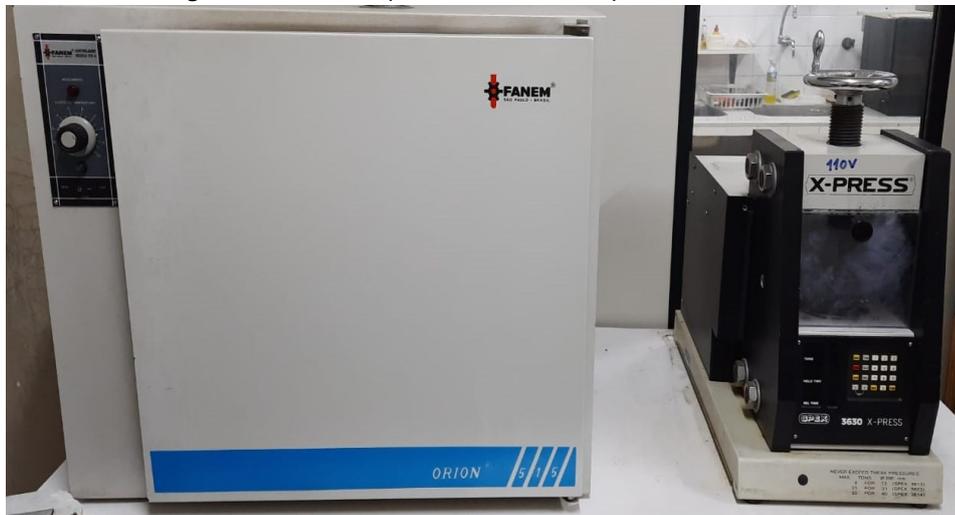
Fonte: A autora (2023)

3.2.5.2 Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX)

Para a execução desta técnica, as amostras precisaram inicialmente passar por moagem em almofariz e peneiramento #200 mesh, ser, inseridas em uma matriz cilíndrica, submetidas a uma prensa e, posteriormente a uma estufa para assim tornarem-se uma pastilha.

A matriz cilíndrica utilizada é uma forma feita de alumínio e possui um diâmetro de 20 mm. Após a adição do material nessa matriz, elas foram encaminhadas para secar na estufa a uma temperatura de 110 °C, e quando secas, levadas a uma mufla a 1000°C por duas horas para determinação de perda ao fogo. Na sequência, a amostra na matriz foi posta na prensa hidráulica de pastilha e submetida uma carga de 30 tf durante dois minutos, para obtenção de uma superfície uniforme e, conseqüentemente, gerar a pastilha. A estufa utilizada neste ensaio foi da FANEM modelo ORION 515, e a prensa hidráulica de pastilha para laboratório foi do modelo 3630 X-Press (Figura 18).

Figura 17 - Estufa e prensa hidráulica de pastilha X-PRESS.



Fonte: A autora (2023)

Após esse procedimento inicial, as pastilhas prontas foram colocadas numa cápsula (Figura 18), e depois anexadas ao equipamento de FRX da marca Rigaku, modelo ZSX Primus II (Figura 19), equipado com tubo de Rh e sete cristais analisadores, no laboratório NEG-LABISE do Departamento de Geologia da UFPE.. Esse processo permitiu a realização do ensaio de FRX, que permite determinar de

forma quantitativa e qualitativa, a composição química dos materiais e estabelecer a concentração química presente na amostra.

Figura 18 - Cápsula com amostra já prepara na matriz cilíndrica.



Fonte: A autora (2023)

Figura 19 - Equipamento de FRX.



Fonte: A autora (2023)

3.2.5.3 Difractometria de Raios-X (DRX)

Esse ensaio permite identificar as fases cristalinas desenvolvidas com a hidratação do composto do cimento Portland, devido à incidência de feixes monocromáticos de raios-X com um determinado comprimento de onda (λ). Esses feixes interagem com os átomos presentes na amostra, ocasionando o fenômeno de difração. Assim, o feixe é difratado através dos planos cristalográficos das camadas atômicas da amostra, que logo são distribuídas por interferências de ondas difratadas, resultando em deflexões em algumas direções, compreendendo a Lei de Bragg.

A análise foi realizada utilizando o equipamento da marca RIGAKU, modelo SMARTLAB (Figura 20), operando sob condições de radiação CuK α , $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ e varredura $2\theta = 5^\circ$ a 90° . Inicialmente as amostras em pó foram maceradas em um almofariz (moedor de porcelana), em seguida, passadas por uma peneira de $45\mu\text{m}$ para obter características de pó bem fino. Somente depois, foram depositadas em um porta-amostras do equipamento de DRX para a concretização do ensaio.

Figura 20 - Equipamento de DRX da marca RIGAKU do modelo SMARTLAB.



Fonte: A autora (2023)

3.2.5.4 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Este ensaio foi realizado com o propósito de determinar as bandas vibracionais dos materiais precursores e do compósito cimentício, possibilitando melhor avaliação quanto a possíveis interações entre a quitosana e demais componentes da calda de cimento para injeção..

A análise foi realizada no Laboratório da Central Analítica do Departamento de Química Fundamental (DQF) da UFPE, através do equipamento PerkinElmer Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR. Utilizando uma amostra em pó e o modo de transmitância, a uma resolução 4, com 4 scans (varreduras), foram analisados os modos vibracionais presentes nos compostos na região compreendida entre 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} .

Figura 21 - Equipamento de FTIR.



Fonte: A autora (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE MICROESTRUTURAL DOS MATERIAIS ANIDROS

4.1.1 Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX)

Além dos dados fornecidos pelas empresas fabricantes sobre a composição química do cimento Portland, da sílica ativa e da quitosana utilizadas no desenvolvimento da calda de injeção, também foi realizado ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX). Os resultados dessa análise apresentados em porcentagens, estão detalhados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Composição química, em óxidos, das matérias-primas obtidas por FRX.

ELEMENTOS QUÍMICOS		MATÉRIAS-PRIMAS		
		CIMENTO	SILÍCA ATIVA	QUITOSANA
NOME / ABREVIÇÃO				
Óxido de Sódio	(Na ₂ O)	0,39	1,28	1,04
Óxido de Magnésio	(MgO)	1,10	0,86	2,58
Óxido de Alumínio	(Al ₂ O ₃)	3,05	0,16	0,25
Dióxido de Silício	(SiO ₂)	12,66	89,46	0,63
Pentóxido de Fósforo	(P ₂ O ₅)	0,74	0,54	3,16
Trióxido de Enxofre	(SO ₃)	3,39	1,25	0,40
Ácido Clorídrico	(Cl)	0,03	0,37	0,48
Óxido de Potássio	(K ₂ O)	1,15	2,79	0,30
Óxido de Cálcio	(CaO)	54,14	0,52	58,62
Óxido de Titânio	(TiO ₂)	0,18	N.D	N.D
Pentóxido de Vanádio	(V ₂ O ₅)	0,02	N.D	N.D
Óxido de Cromo	(Cr ₂ O ₃)	0,02	0,01	N.D
Óxido Manganoso	(MnO)	N.D	0,15	TR.
Óxido de Ferro	(Fe ₂ O ₃)	2,07	1,51	0,08
Óxido de Níquel	(NiO)	0,01	TR.	TR.
Óxido de Cobre	(CuO)	0,01	0,01	TR.
Óxido de Zinco	(ZnO)	0,02	0,03	TR.
Bromo	(Br)	N.D	N.D	0,01
Óxido de Rubídio	(Rb ₂ O)	N.D	0,01	N.D
Óxido de Estrôncio	(SrO)	0,06	N.D	0,85
Óxido de Ítrio	(Y ₂ O ₃)	N.D	N.D	0,01
Dióxido de Zircônio	(ZrO ₂)	0,01	N.D	N.D
Óxido de Nióbio	(Nb ₂ O ₅)	N.D	N.D	N.D
Óxido de Chumbo	(PbO)	N.D	0,01	N.D
Perda de Fogo	(PF)	20,94	1,00	31,60
Total		100,00	100,00	100,00

*N.D = Não detectado; *TR = Traços.

Fonte: A autora (2023)

Mediante a análise dos resultados expostos na Tabela 8, verificou-se que a composição do cimento está em conformidade com os limites estabelecidos pelos requisitos químicos da norma NBR 16697: 2018, especialmente no que diz respeito aos seus principais óxidos, tais como óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO₂), óxido alumínio (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de magnésio (MgO) e trióxido de enxofre (SO₃). Adicionalmente, nota-se, uma predominância no óxido de cálcio (CaO), com 54,14%, seguido pelo dióxido de silício (SiO₂) com 12,66%, o óxido alumínio (Al₂O₃) com 3,05%, e o óxido de ferro (Fe₂O₃) com 2,07%. Esses mesmos elementos também foram encontrados com percentuais equivalentes e semelhantes em estudo realizados por Cirino (2016) e Grigoletto (2023), não revelando diferenças significativas entre os valores.

Atrelado a isso, observa-se que, entre os materiais, o óxido de cálcio (CaO) apresentou o teor mais elevado, com um percentual de 58,62% na quitosana e 54,14% no cimento Portland. No caso da sílica ativa, o percentual foi relativamente baixo, atingindo 0,52%.

O elevado percentual de CaO na quitosana está associado ao seu processo de produção, especificamente na etapa de desmineralização dos crustáceos, cuja a finalidade é extrair os minerais, principalmente CaCO₃. Quando a desmineralização da quitosana não é eficiente, observa-se a presença de alguns minerais, resultando, em diversos casos, em um teor elevado de CaO na quitosana (ROSA, 2021). Em estudos conduzidos por Isa (2013), Shavandi *et al.* (2015), Majekodunmi *et al.* (2017) e Sobreira *et al.* (2020), a presença de CaO na quitosana também foi identificada em alta concentração.

Na composição da quitosana, é possível também observar a presença de outros minerais, como ferro, potássio, magnésio entre outros. A identificação do ferro, por exemplo, pode ser atribuída aos reagentes alcalinos possivelmente utilizados no processo de neutralização convencional do pH da drenagem ácida, resultando em um volume considerável de resíduos sólidos ricos em ferro e outros metais. Ademais, nota-se a presença de 0,48% de ácido clorídrico na quitosana, que pode ser decorrente tanto do grau de pureza do material quanto

do processo de desmineralização, já que é comum o uso de ácido clorídrico diluído durante a desmineralização, resultando na presença de baixos teores do cloro (OLIVEIRA; FERNANDE; CARVALHO, 2021).

No caso da sílica ativa, o percentual de apenas 0,52% de CaO se explica pelo fato de a sílica ativa ser composta basicamente por SiO₂, correspondendo a cerca de 92% em sua composição, restando 8% distribuído para outros elementos (BERTEQUINI; MACHI; DONÁ, 2019). Os resultados obtidos indicam que o dióxido de silício (SiO₂) foi o mineral de maior concentração na sílica ativa, correspondendo a 89,46% de sua composição.

Cabe ressaltar que o resultado apresentado atende aos requisitos químicos da ABNT NBR 13956-1: 2012, cujo teor de SiO₂ deve ser maior ou igual a 85,0% e corrobora com resultados semelhantes obtidos por Pacheco *et al.* (2019), Fraga *et al.* (2020) e Amaral, Macioski e Medeiros (2021).

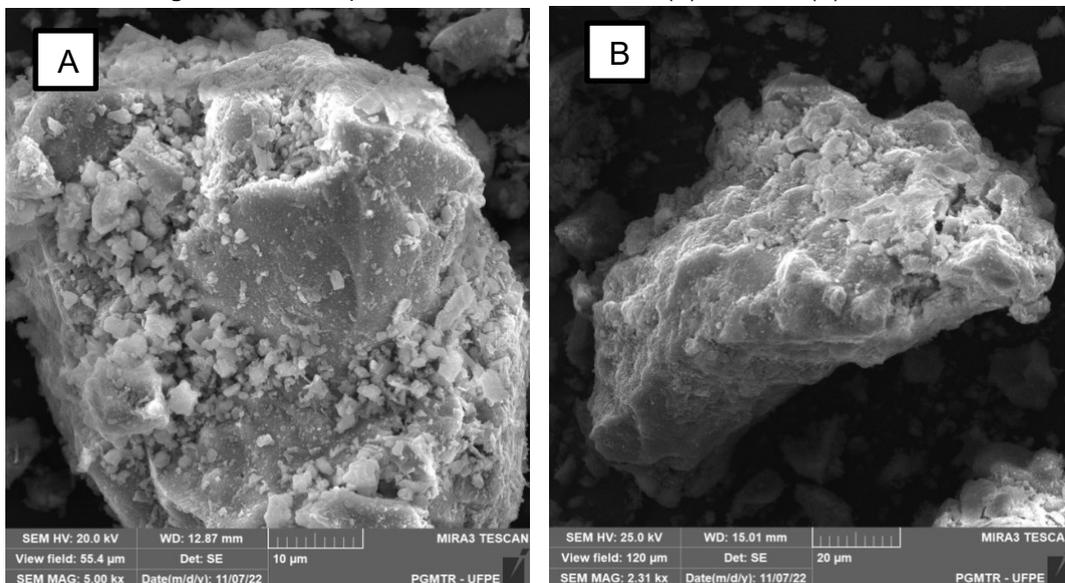
4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)

Com o objetivo de verificar a morfologia das partículas dos materiais anidros, foram realizadas micrografias eletrônicas de MEV, e em conjunto com essas micrografias, utilizando o detector de elétrons secundário (SE), a técnica de espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

Para o resultado da micrografia do cimento Portland utilizado nas amostras dos compósitos, temos as Figuras 22 A e 22 B, com ampliações de 5.00 kx e 2.31 kx, respectivamente. Nessas micrografias, é possível perceber algumas regiões com a geometria das partículas do cimento definida, enquanto em outras, elas apresentam diferentes formatos e tamanhos irregulares, com um aspecto homogêneo e cristais um pouco densos devido à área específica do material, tornando-os menos dispersos. Resultado parecido com esse, apresentando grãos aglomerados, foi identificado no trabalho de Berenguer (2021), onde ele relata que a formação destes grãos pode ser ocasionada devido

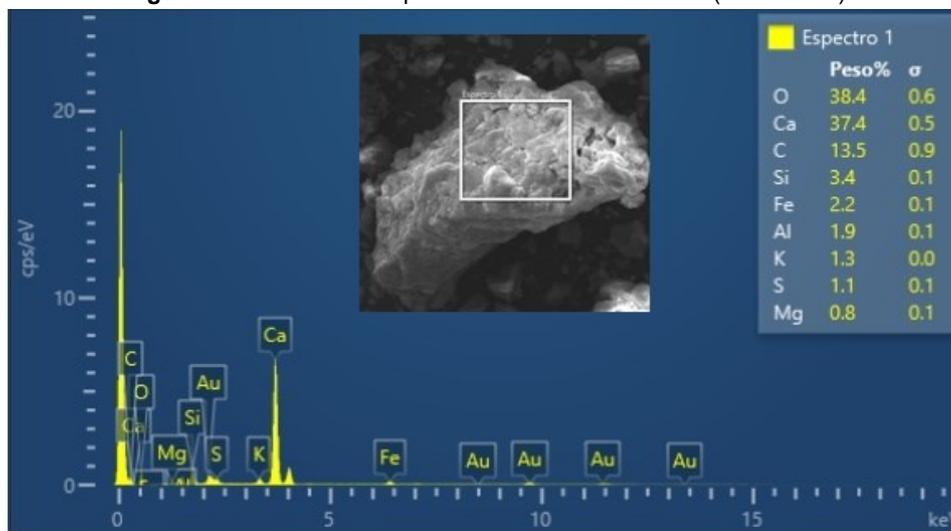
à temperatura utilizada no processo de fabricação do cimento ou pela interação com a umidade do Ar.

Figura 22 - MEV aplicado ao Cimento Portland: (A) 5,00 kx e (B) 2,31 kx.



Fonte: A autora (2023)

Figura 23 - MEV e EDS aplicada ao Cimento Portland (CP II- F 32).

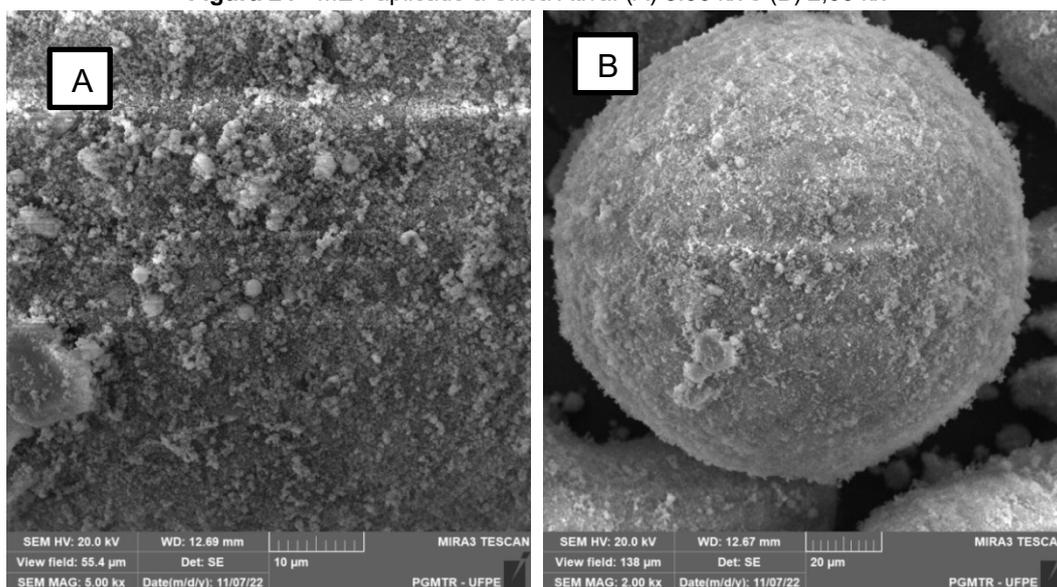


Fonte: A autora (2023)

Na análise de EDS do cimento Portland, constata-se no espectro 1 (Figura 23) a presença de teores mais elevados do oxigênio (O) com 38,4%, seguido do cálcio (Ca) em 37,4% e do carbono (C) com 13,5%. Os demais elementos químicos, como o silício (Si), (Fe), (Al), (K), (S) e (Mg), aparecem na sequência, porém com menor teor de porcentual em peso.

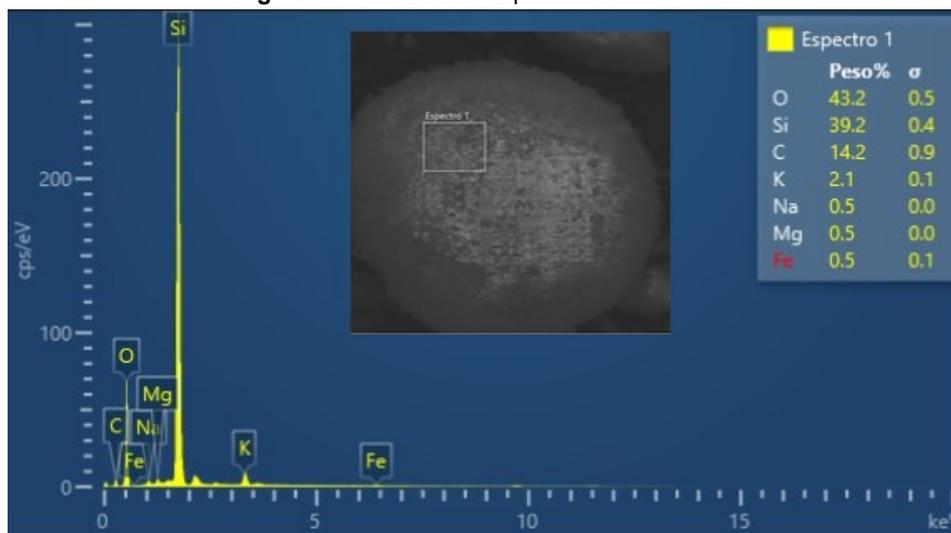
Quanto à micrografia da sílica ativa apresentada nas Figuras 24 A e 24 B, com ampliações de 5.00 kx e 2.00 kx, observou-se que os grãos se apresentaram de forma esférica, bastante regular e com diferentes tamanhos. Essas características foram reveladas ao desaproximar a imagem (Figura 24 B), onde se notou que os pequenos grãos se aglomeraram para formar um grão maior, fato que pode acontecer devido à sua alta reatividade (LEWIS, 2017; PAULETTO; BREHM; GOMES, 2020). Em pesquisas realizadas por Romano *et al.* (2008), Guillante (2018), Oliveira (2019), Pacheco *et al.* (2019) e Fraga *et al.* (2020), as micrografias da sílica ativa foram identificadas com aspectos, formas e aglomerações semelhantes às apresentações neste estudo (Figura 24). No caso da análise do MEV (EDS) da SA, o espectro 1 na Figura 25 mostra a presença de oxigênio (O), silício (Si), carbono (C) indicando teores de 43,2%, 39,2% e 14,2% respectivamente.

Figura 24 - MEV aplicado à Sílica Ativa: (A) 5.00 kx e (B) 2,00 kx



Fonte: A autora (2023)

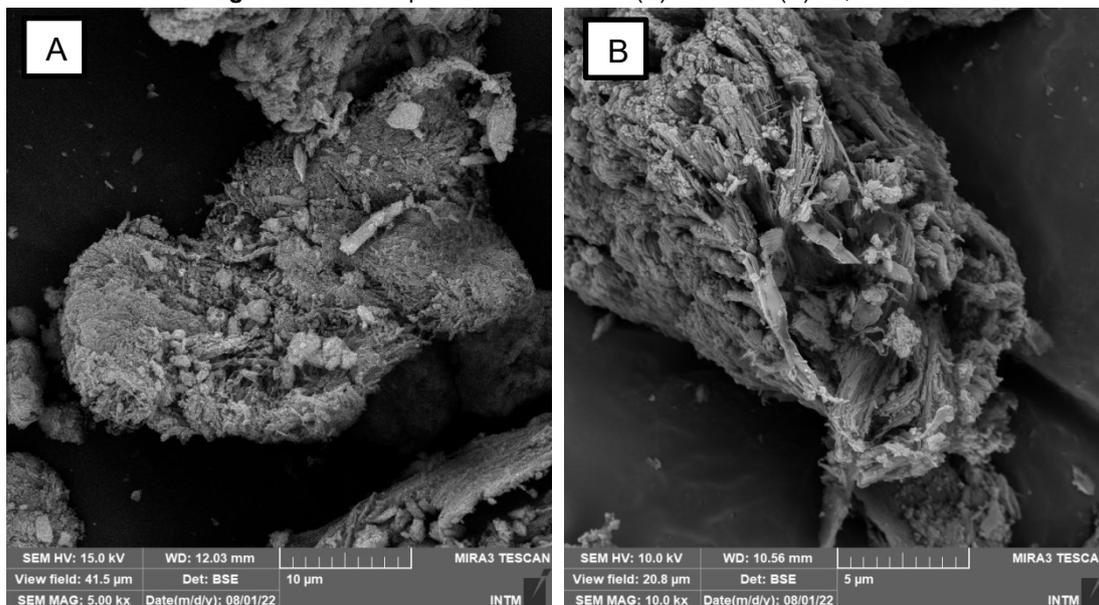
Figura 25 - MEV e EDS aplicada à Sílica Ativa.



Fonte: A autora (2023)

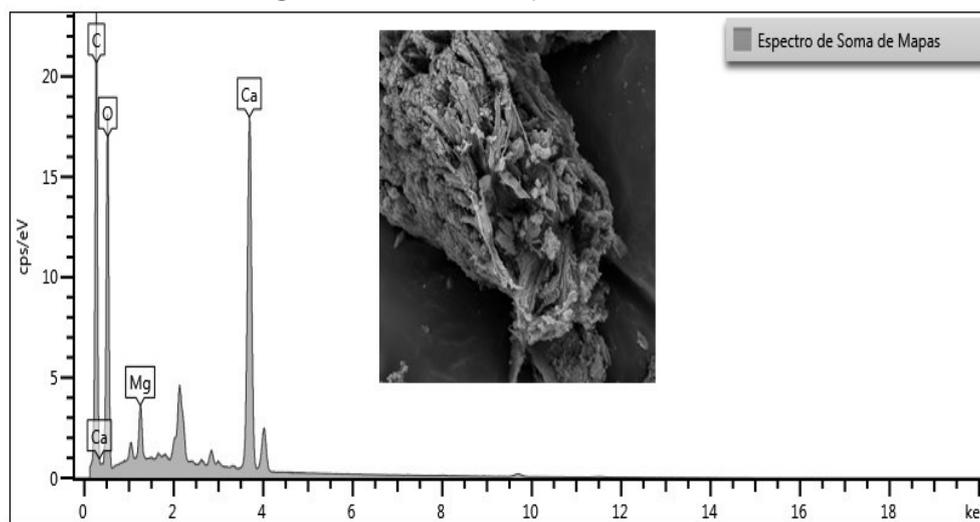
Com relação à quitosana em pó, as Figuras 26 A e 26 B apresentam micrografias com ampliação equivalente a 10.00 kx e 5.00 kx. Nessas imagens é possível perceber que sua morfologia revelou variações de superfícies irregulares, isto é, com vários tamanhos e formas, além de um aspecto fibroso, junto à presença de espaços vazios na estrutura, resultando em um material poroso.

Figura 26 - MEV aplicado à Quitosana: (A) 5.00 kx e (B) 10,00 kx



Fonte: A autora (2023)

Figura 27 - MEV e EDS aplicada a Quitosana.



Fonte: A autora (2023)

A presença dos poros expostos na micrografia da quitosana é possivelmente proveniente do reagente NaOH na fase de desproteinização. Quanto aos formatos das partículas, ou seja, de sua estrutura, podem estar associados ao processo de obtenção e à origem do polímero (grau de cristalinidade, pureza, mudanças devido ao processo de desacetilação etc.) (SÁ, 2020; OLIVEIRA, 2021). Essas características morfológicas apresentadas são semelhantes aos resultados encontrados por Silveira (2013), Antonino *et al.* (2017), Sobreira *et al.* (2020) e Eddy, Tbib e El-Hami (2020) nas pesquisas realizadas.

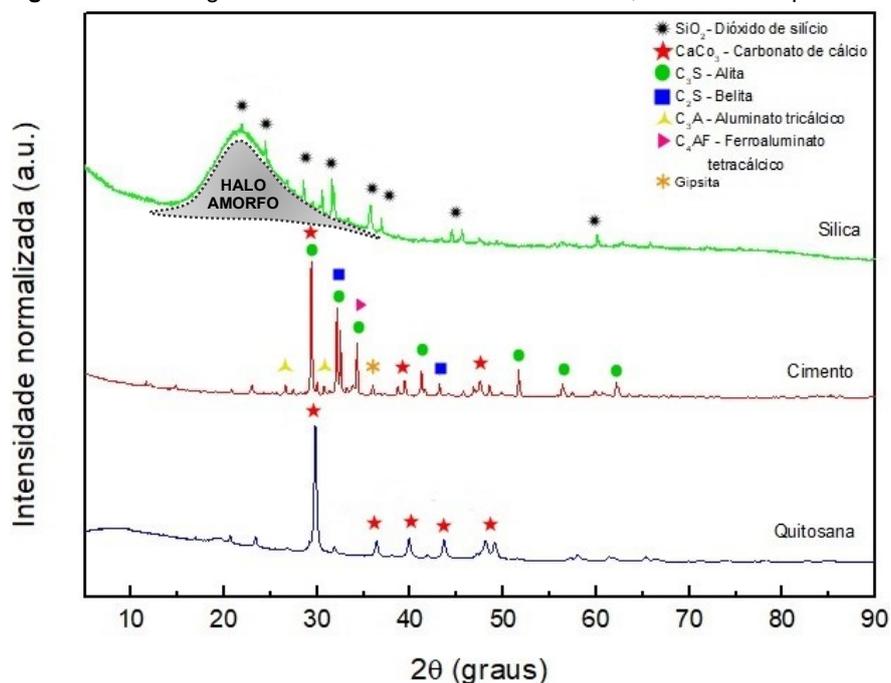
Nos resultados da análise de composição química elementar por EDS (Figura 27) observa-se presença predominante do cálcio (Ca), oxigênio (O) e carbono (C), elementos comumente encontrados na quitosana (HOLANDA, 2011; SOUSA, 2012; CRUZ *et al.*, 2016; EULÁLIO *et al.*, 2019; XAVIER, 2023).

4.1.3 Difratomia de Raios-X (DRX)

As fases cristalinas e amorfas das matérias-primas empregadas neste trabalho foram analisadas através de difratometria de raios-x. Os padrões apresentados correspondem a picos de difração, nas posições angulares 2θ , conhecidos como ângulos de Bragg.

O difratograma da sílica ativa (Figura 28), como esperado, apresentou poucos picos e um alto grau de amorfismo centrado entre os ângulos de difração (2θ) de 14° a 35° , referentes às fases amorfas do SiO_2 . Os picos intensos que ocasionam esse halo amorfo são característicos de materiais pozolânicos com alta reatividade química (HOPPE FILHO *et al.*, 2015; FRAGA, 2019; COSTA, 2020). Resultados semelhantes a esses foram observados por Gobbi (2014), Pinheiro (2016), Martins (2018), Oliveira (2019) e Berenguer (2021).

Figura 28 - Difratogramas dos materiais: cimento Portland, sílica ativa e quitosana.



Fonte: A autora (2023)

No que diz respeito ao difratograma do cimento Portland (Figura 28), observaram-se picos cristalinos bem definidos, indicando a presença dos componentes característicos do cimento, como o silicato tricálcico - C_3S (alita), silicato dicálcio - C_2S (belita), luminato tricálcico (C_3A), ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), a calcita (CaCO_3) e também a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), correlacionando-se com os estudos realizados por Ho *et al.* (2020), Kuzielová *et al.* (2021) e Lascosk (2022).

A formação da alita, cuja definição é dada pela correlação química ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), foi identificada com picos intensos nas posições de 2θ em $29,5^\circ$,

32,3° e 34,4°, enquanto outros de menor intensidade em 41,4°, 51,8°, 56,7 ° e 62, 18°. No caso da belita (C₂S), notou-se um pico sobreposto à fase C₃S, na posição (2θ) 32,3°, e outro menor em 43,5°, conforme mostrado na Figura 29. Já o aluminato tricálcico (C₃A), foi observado através dos picos em 26,8° e 33,3° (2θ), enquanto o aluminato férrico tetracálcico (C₄AF) pode ser observado através dos picos de 33,5° a 34°, o que também foi relatado nos trabalhos de Brasileiro (2013), Barbosa e Portella (2019), Bilcati, Costa, Paulino (2022).

Ademais, no cimento, também se constatou a presença de fases cristalinas do carbonato de cálcio (CaCO₃) e da gipsita (CaSO₄.2H₂O). O CaCO₃ apresenta um pico sobreposto à fase C₃S, na posição de (2θ) 29,5° e, outros dois em 39,46° e 47°, e o pico da gipsita, apresentando-se de forma isolada na posição (2θ) 37°. Todos os resultados de difratometria de raios-X aqui apresentados corroboram com os resultados de Santos (2020) e Thiyagu, Manjubala, Narendrakumar (2021) e Wang *et al.* (2022).

A quitosana apresenta estrutura cristalina, como pode ser observado em seu difratograma na Figura 28. Essa cristalinidade tem sido explicada como decorrente das fortes ligações de hidrogênio intermoleculares na quitosana (BARARN E MENTES, 2015; BARBOSA *et al.*, 2019). De acordo com Suneeta, Rath e Sri (2016) e Wang *et al.* (2022), os picos cristalinos da região característica da quitosana podem surgir entre as posições de (2θ) 19° a 32°, e 37° a 77, 92°. Essa variação da cristalinidade apresenta diversos fatores, como a eficácia da remoção de minerais de cada ácido nas etapas de desmineralização e desacetilação, a natureza do organismo do qual foi extraída a quitosana, bem como as condições usadas no procedimento de extração, dentre outros. Entretanto, tem sido verificado que o grau de cristalinidade e o grau de desacetilação aumentam proporcionalmente: quanto mais alto o grau de desacetilação da quitosana, mais alta será sua cristalinidade (MAREI *et al.*, 2016; EDDYA, TBIB; EL-HAMI, 2020).

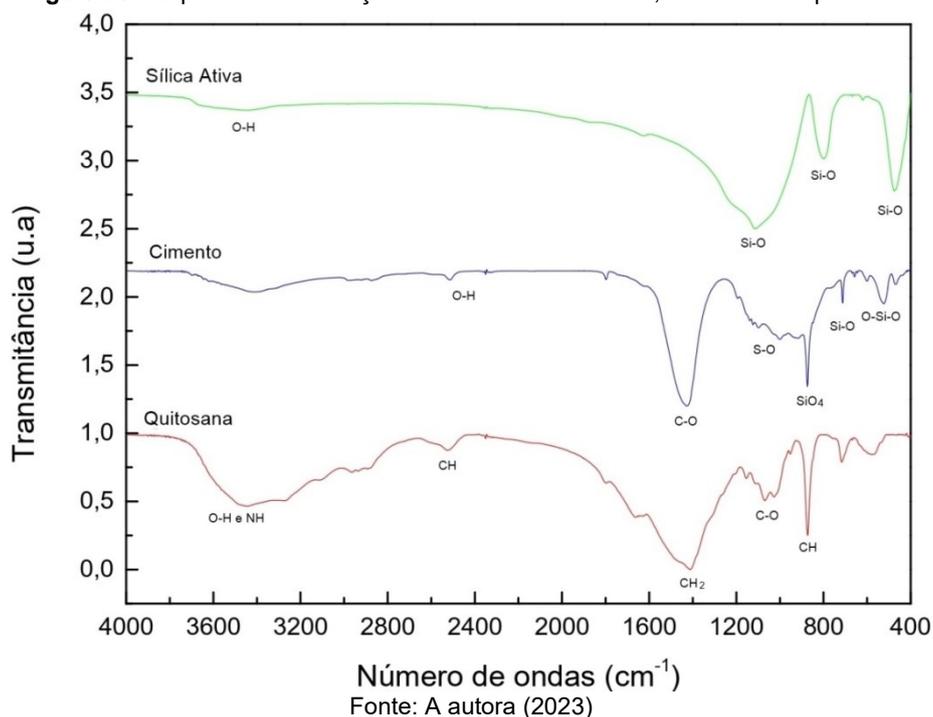
Atrelado a isso, cabe ressaltar que um grau de desacetilação é considerado baixo quando está entre 55% e 70%, médio entre 70% e 80% e

elevado entre 85% e 95% (COSTA FILHO, 2017; MACENO, 2019). Neste caso, o grau de desacetilação da quitosana utilizada no presente trabalho é elevado, pois corresponde a 85% com base nas informações fornecidas pela empresa POLYMAR, mostradas na Tabela 6. Contudo, observa-se no difratograma (Figura 28), picos bem definidos na posição de (2θ) $29,52^\circ$, e outros de baixa intensidade em $37,82^\circ$, $39,7^\circ$, $44,6^\circ$, $48,2^\circ$ e $49,1^\circ$ (2θ) , sendo todos eles característicos do carbonato de cálcio (CaCO_3). Anan *et al.* (2011), inclusive relata que a ausência dos picos em (2θ) 9° , 13° , 23° e 26° , por exemplo, pode ser decorrente da fase de desacetilação. Resultados semelhantes aos aqui apresentados foram observados por Battisti e Campana-Filho (2008), Ifuku *et al.* (2011), Boudouaia, Bengharez e Jellali (2019), Eddy, Tbib e El-Hami (2020) e Wang *et al.* (2022).

4.1.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Realizada com intuito de melhor compreender os grupos funcionais presentes nas matérias-primas, os resultados obtidos pela análise de FTIR estão apresentados pelos espectros no gráfico da Figura 29, variando de 400 e 4000cm^{-1} , sendo o valor no eixo x referente ao comprimento de onda (cm^{-1}) e o no eixo y, à transmitância (%).

Figura 29 - Espectros de absorção FTIR: cimento Portland, sílica ativa e quitosana.



Os resultados apresentados na Figura 29 mostram que o cimento anidro apresentou picos em aproximadamente $522\text{-}468\text{ cm}^{-1}$, $710\text{-}600\text{ cm}^{-1}$, 870 cm^{-1} , $1000\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, $1500\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$, 2510 cm^{-1} e 1790 cm^{-1} , corroborando com os resultados semelhantes aos obtidos por Ram, Singhal e Parameshwaran (2020), Kuzielová *et al.* (2021), Nascimento (2022) e Yusuf (2023). Nesta perspectiva, a banda na faixa de $522\text{-}468\text{ cm}^{-1}$ é equivalente às vibrações simétricas e assimétricas de ligação (O-Si-O), e as bandas entre 710 cm^{-1} e 600 cm^{-1} correspondem aos estiramentos de (Si - O) (CAI *et al.*, 2018; KOCAK, 2020).

A banda intensa observada em torno de 870 cm^{-1} corresponde ao grupamento SiO_4 (silicato), ao qual podem ser relacionados, de acordo com Gruszczyński e Lenart (2020), aos grupos funcionais denominados como (C_3S) e (C_2S) determinados no clínquer. Já as bandas em $1000\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, para Tonoli *et al.* (2016) e Lin *et al.* (2019), são atribuídas ao estiramento C-S-H, devido ao SO_4^{2-} .

Quanto às bandas evidenciadas entre $1500\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$, elas são características da composição química da gipsita presente no cimento Portland, atribuídas às ligações (S-O) pertencentes aos grupos tetraédricos (SO_4)

(KUZIELOVÁ *et al.*, 2021). Observa-se ainda um pico próximo a 1425 cm^{-1} , com uma intensidade maior comparada às demais bandas, comportamento esse resultado do estiramento C-O ocasionado pela presença do carbonato de cálcio, fase calcita (CO_3^{2-}) (LOPES, 2020; NASCIMENTO, 2022). Já os picos menos expressivos entre 2510 cm^{-1} e 1790 cm^{-1} são referentes à água livre ou dispersa, do alongamento do grupo O-H (LAKHSSASSI *et al.*, 2019; AHMAD *et al.*, 2022).

No espectro da sílica ativa, conforme evidenciado na Figura 29, foram identificadas bandas em 1115 cm^{-1} , 800 cm^{-1} e 475 cm^{-1} , as quais estão associadas aos modos vibracionais do grupo Si-O e a características de SiO_4 livre. Adicionalmente, observou-se outra banda, larga, na faixa de $3500\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$, a qual pode ser atribuída às vibrações relacionadas à presença de água na sílica ativa (KUZIELOVÁ *et al.*, 2021; CATAURO *et al.*, 2020). Essas bandas apresentadas estão em concordância com os resultados descritos em trabalhos conduzidos por Peteni *et al.* (2017), Almeida (2019), Elói (2020), Ślosarczyk *et al.* (2020), Dias *et al.* (2021) e Busca (2023).

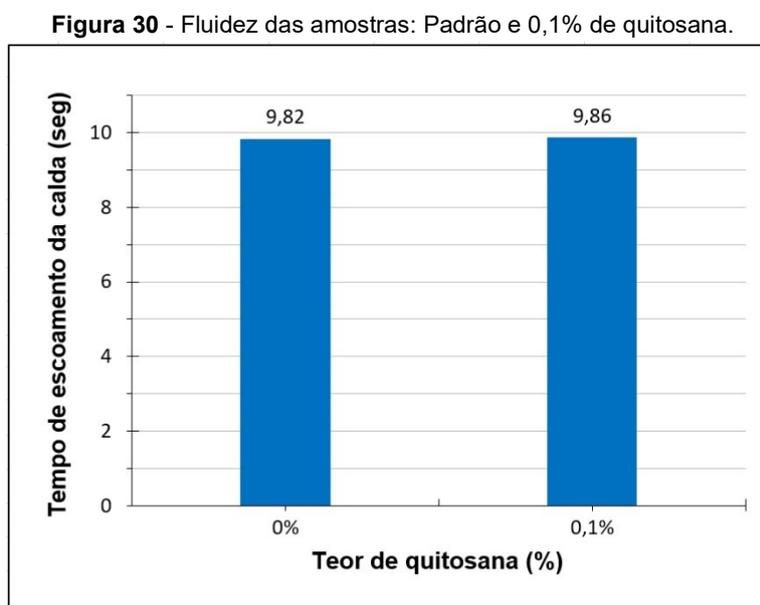
O espectro da quitosana demonstrou bandas nas regiões de 716 cm^{-1} , 872 cm^{-1} , 1068 cm^{-1} , 1413 cm^{-1} , 2524 cm^{-1} e 3444 cm^{-1} . A banda situada na faixa de 716 cm^{-1} é atribuída a estruturas polissacarídicas, enquanto a banda observada em 872 cm^{-1} está relacionada ao desvio de CH e a estrutura sacarídica da quitosana (PYLYPCHUK *et al.*, 2016; RASWEEFALI *et al.*, 2021; ZATTAR, 2022). As bandas mais fracas que aparecem na região de 1068 cm^{-1} , indicam a presença de ligações C-O e ligações glicosídicas, C–O–C, características da estrutura polissacarídica (BOBU *et al.*, 2011; MAREI, 2016; KUYOYOGSUY, 2020), pico característico da quitosana (IBER *et al.*, 2023). Observa-se também a presença de bandas relacionada à deformação de CH_2 na faixa de 1413 cm^{-1} , associadas ao grupo N-acetil, cuja confirmação é obtida pelo estiramento vibracional da ligação C=O (amida I) em torno de 1645 cm^{-1} . Ademais, características de alongamentos de CH, por volta de 2524 cm^{-1} , e uma banda de absorção larga em torno de 3430 cm^{-1} associada à vibração simétrica do alongamento O-H e NH de amina I e II (ZHAO *et al.*, 2014; CRUZ, 2018; PATI *et al.*, 2020; YAMELIT; DARYL, 2021). O padrão FT-IR apresentado assemelha-

se a resultados reportado por Silva *et al.* (2016), Barbosa *et al.* (2019), Plath (2020) e Pereira (2023).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA CALDA DE INJEÇÃO

4.2.1 Determinação de Fluidez e de Vida Útil

A fluidez da calda está intrinsecamente ligada a diversos fatores incluindo a natureza (composição), a finura do cimento, a quantidade de água utilizada, o teor das adições eventuais, os aditivos químicos, entre outros (NOVA, 2017). Com base nisso e conforme os procedimentos descritos nos itens 3.2.3.1 e 3.2.3.2 deste trabalho, foi possível coletar dados relativos ao tempo de escoamento, no qual o volume da calda de cimento é liberado do cone Marsh, permitindo, assim, avaliar sua fluidez e vida útil. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 30 e 31, bem como sintetizados na tabela 9. A Figura 30 exibe os resultados para o índice de fluidez, relacionando o tempo de escoamento expresso em segundos, em função do teor de adição da quitosana em substituição da massa de cimento.



Fonte: Autora (2023)

Com base nos resultados apontados acima (Figura 30), observa-se, que ambas as pastas resultaram em uma fluidez satisfatória, para o que estabelece

a NBR 7681:2013, ao qual atesta que o limite admitido para o tempo, em segundos(s), que 1.000cm³ de calda leva para escoar por um funil é de no máximo 12 segundos. Entretanto, nota-se ainda, que a pasta padrão, apresentou uma variação no tempo de escoamento de 4 milésimos de segundo inferior quando comparado à amostra com adição de 0,1% quitosana. Isso indica que a amostra padrão é uma pasta mais fluida (NGUYEN *et al.*, 2011). Isso porque, no ensaio de fluidez, quanto menor o tempo de fluxo de escoamento da pasta para atingir o volume determinado, maior é a sua fluidez (VASUMITHRAN; ANAND; SATHYAN, 2021).

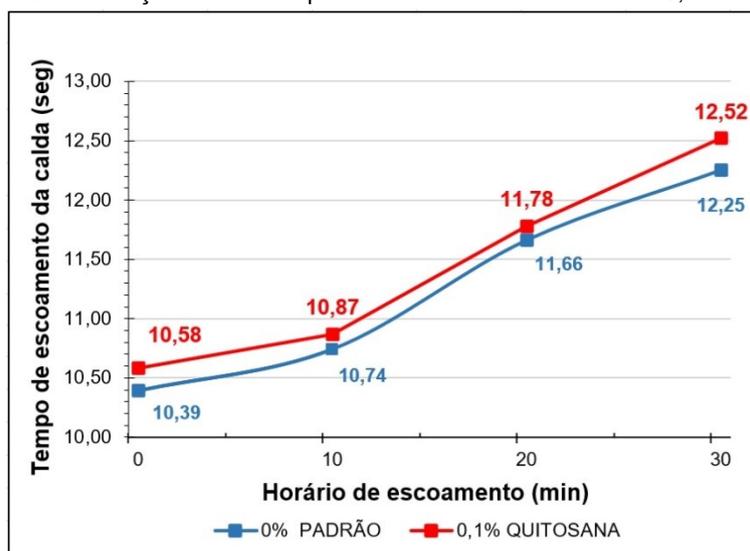
Em seguida, foi realizada a análise de vida útil da calda, a qual, segundo a NBR 7681-2:2013, é determinada pelo tempo em que a mistura apresenta ganhos de fluidez durante o intervalo estabelecido, até se atingir 12 segundos. Ou seja, quanto menor o tempo do fluxo de escoamento no decorrer do intervalo, maior a fluidez da calda e, conseqüentemente, maior sua vida útil. Posto isso, os resultados obtidos referentes à vida útil das amostras das caldas de injeção, com e sem quitosana, são apresentados na Tabela 9, seguido da Figura 31 para melhor visualização.

Tabela 9 - Valores aferidos e desvios-padrão para o escoamento de 1 litro de calda em segundos

HORÁRIO DE ESCOAMENTO (MIN)	TEMPO DE ESCOAMENTO DA C.I (SEG)	
	0% PADRÃO	0,1% QUITOSANA
0	10,39 (seg)	10,58 (seg)
10	10,74 (seg)	10,87 (seg)
20	11,66 (seg)	11,78 (seg)
30	12,25 (seg)	12,52 (seg)

Fonte: Autora (2023)

Figura 31 - Determinação da vida útil para as amostras: Padrão e com 0,1% de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

Com base nos dados apresentados (Tabela 9 e Figura 31), foram observados quatro resultados em um intervalo de tempo de 30 minutos em ambas as amostras. Neste intervalo, o tempo inicial foi 0 (zero) minutos, e o tempo final foi de 30 minutos. Esse tempo final de 30 minutos corresponde ao momento em que a calda atingiu a fluidez máxima de 12 segundos para o escoamento, conforme preconizado pela ABNT NBR 7681-2:2013. Neste cenário, a análise dos resultados, permite constatar que, apesar de as amostras terem apresentado decorrências semelhantes e aceitáveis aos critérios estabelecidos pela norma mencionada, atingindo o tempo permitido de 12 segundos para o escoamento, a calda de injeção padrão apresentou um desempenho melhor, em termos de vida útil quando comparado com a calda que contém 0,1% de quitosana, indicando ser uma pasta mais fluida.

Os resultados dos ensaios (Fluidez e vida útil) mostraram que as caldas com 0,1% de quitosana apresentaram uma baixa fluidez, ou seja, uma redução na velocidade de fluxo. Essa decorrência pode estar relacionada à presença do biopolímero na calda de injeção, visto que a quitosana apresenta propriedade viscosificante. Assim, é possível que sua presença aumente essa propriedade da pasta no estado fresco, e quanto maior a viscosidade da pasta, menor é a sua fluidez (SUBHI *et al.*, 2020). Resultados semelhantes a esse foram

encontrados por Nobrega (2009), Lasheras-Zubiate *et al.* (2012), Wang *et al.* (2022).

4.2.2 Resistência Mecânica à Compressão Axial

Após a moldagem dos corpos-de-prova e o transcorrer de 28 dias de cura úmida, a caracterização mecânica dos compósitos realizou-se por meio da execução do ensaio de resistência à compressão axial. Os corpos de prova foram rompidos utilizando uma prensa hidráulica do tipo analógica da marca AMSLER, que fornece os resultados da resistência à compressão axial (f_c) em MegaPascal (MPa) e suas respectivas curvas de ruptura com velocidade de aplicação da carga de $0,25 \pm 0,05$ (MPa/s). A Tabela 10 apresenta os valores médios das resistências, juntamente com os respectivos desvios-padrões, calculados a partir de quatro corpos de prova para cada amostra (Padrão e 0,1% de quitosana).

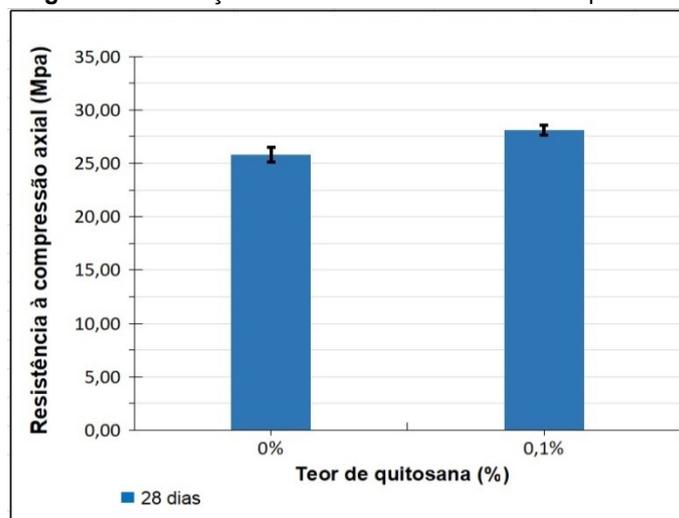
Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência mecânica à compressão axial das caldas de cimento para injeção aos 28 dias.

AMOSTRA/TRAÇOS	0 % PADRÃO	0,1 % QUITOSANA
Média (Mpa)	25,80	28,10
Desvio-Padrão (Amostral)	0,67	0,44
Desvio-Padrão (Médio)	0,52	0,35
Coefficiente De Variação (%)	2,03%	1,25%

*DP = Desvio Padrão; *CV = Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2023)

Figura 32 - Evolução da resistência mecânica à compressão.



Fonte: A autora (2023)

Com base nos resultados apontados, verificou-se que as amostras da calda contendo 0,1% de quitosana apresentaram resistência à compressão superior à amostra padrão, registrando uma resistência de 28,10 Mpa, enquanto a amostra sem adição (Padrão) exibiu uma resistência de 25,80 MPa. Esse aumento representa uma elevação de 8,9% na resistência em relação à amostra padrão. Notou-se também que a mistura com 0,1% de quitosana apresentou desvio padrão inferior ao da pasta pura, indicando resultados mais uniformes.

O aumento da resistência mecânica em amostras contendo quitosana em outros compósitos cimentícios foi confirmada em pesquisas anteriores (COSTA, 2019; SANTOS, 2019; SILVA, 2023). Esse acréscimo pode ser atribuído ao fato de a quitosana ser um material que confere estabilidade mecânica à pasta, ou seja, desempenha um papel coadjuvante no cimento. Isso evita a heterogeneidade e favorece uma melhor organização na microestrutura do compósito, além, de reduzir a porosidade, o que conseqüentemente aumenta as resistências mecânicas da pasta endurecida (QIAN *et al.*, 20219; PARREIRA, 2023).

Zhao *et al.* (2020) e Bekbayeva *et al.* (2022) descrevem esse efeito relacionado ao preenchimento dos poros, o qual resulta no reforço na matriz cimentícia. Do mesmo modo, nos resultados microestruturais obtidos por MEV neste trabalho, onde, observou-se que a inclusão de quitosana na amostra resultou na redução de vazios, o que conseqüentemente acarretou em um resultado mais favorável aqui na resistência mecânica em comparação com a amostra padrão.

Outro fato importante que pode ter contribuído para esse resultado é a presença do carbonato de cálcio, identificado nas análises microestruturais em decorrência também da quitosana. Essa presença do CaCO_3 , além de ser útil para o preenchimento de poros, contribui para uma microestrutura mais densa da pasta e um aumento na resistência mecânica e dureza (GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.*, 2008; FARAHI *et al.*, 2013; SOUSA, 2021).

Diante desses resultados, foram realizados posteriormente a Análise de Variância (ANOVA) no Excel, o Teste de Tukey (T), e o Teste de Fisher através software da Minitab versão 17.1, para verificar se as médias eram diferentes estatisticamente. Dessa forma, para ambos os testes, foi estabelecido um nível de significância de 5%, ou seja, um nível de confiança de 95%. Os resultados dessas análises podem ser visualizados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Análise de variância do ensaio de resistência à compressão aos 28 Dias.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	10,81125	1	10,81125	33,8292	0,001135	5,987378
Dentro dos grupos	1,9175	6	0,319583			
Total	12,72875	7				

Fonte: A autora (2023)

Tabela 12 – Teste de Tukey e Teste de Fisher para o ensaio de resistência à compressão aos 28 Dias.

<i>Difference of Levels</i>	<i>Grouping</i>	<i>Difference of Means</i>	<i>SE of Difference</i>	<i>95% CI</i>	<i>T-Value</i>	<i>Adjusted P-Value</i>
0,1% - 0%	A; B	2,325	0,400	(1,347; 3,303)	5,82	0,001

Fonte: A autora (2023)

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de fator único (Tabela 11) revelam que o valor de F é superior ao do F crítico. Dessa forma, podemos considerar que existe uma diferença entre as médias, levando à rejeição da hipótese nula H_0 . Em outras palavras, as amostras (Padrão e 0,1% de quitosana) apresentam diferenças estatisticamente significativas, o que, por sua vez, é afetada pela presença da quitosana. A Tabela 12 exibe os resultados do Teste de Tukey (T) e Teste de Fisher, ambos foram realizados posteriormente para corroborar com a afirmação apontada na ANOVA. Neste caso, os dois testes apresentaram resultados iguais, indicando com base nos diferentes grupos, representados pelas letras A e B, que a diferença entre as médias é estatisticamente significativa. Em resumo, a quitosana na calda resultou em uma variação na resistência.

4.3 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Com o intuito de compreender de maneira clara e objetiva as propriedades dos compósitos cimentícios, assim como a interação da quitosana na calda de injeção, e considerando a classificação das partículas na matriz e a analogia macroscópica dos componentes, foram realizadas, após 28 dias de hidratação, algumas análises microestruturais, tais como: FRX, MEV/EDS, DRX, e FTIR, nas pastas de cimento (Padrão e 0,1% de quitosana), conforme apresentados nos resultados a seguir.

4.3.1 Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX)

Na Tabela 13, são apresentados os valores percentuais dos óxidos que constituem a composição química dos compósitos cimentícios para as amostras padrão e a com adição de 0,1% de quitosana realizados através da técnica de FRX.

Tabela 13 - Composição química em óxidos, das amostras (Padrão e 0,1% de quitosana) obtidas por análise de FRX.

ELEMENTOS QUÍMICOS		AMOSTRAS DA CALDA DE CIMENTO PARA INJEÇÃO	
		0% PADRÃO	0,1% QUITOSANA
NOME / ABREVIÇÃO			
Óxido de Sódio	(Na ₂ O)	N.D	0,56
Óxido de Magnésio	(MgO)	1,05	1,14
Óxido de Alumínio	(Al ₂ O ₃)	2,84	3,14
Dióxido de Silício	(SiO ₂)	17,18	16,85
Pentóxido de Fósforo	(P ₂ O ₅)	0,76	0,77
Trióxido de Enxofre	(SO ₃)	2,59	2,58
Cloro	(Cl)	0,06	0,06
Óxido de Potássio	(K ₂ O)	0,68	0,87
Óxido de Cálcio	(CaO)	51,09	51,31
Dióxido de Titânio	(TiO ₂)	0,19	0,21
Pentóxido de Vanádio	(V ₂ O ₅)	N.D	N.D
Óxido de Cromo	(Cr ₂ O ₃)	N.D	N.D
Óxido Manganoso	(MnO)	0,03	0,03
Óxido de Ferro	(Fe ₂ O ₃)	2,12	2,12
Óxido de Níquel	(NiO)	0,01	0,01
Óxido de Cobre	(CuO)	0,01	0,01
Óxido de Zinco	(ZnO)	0,02	0,02
Bromo	(Br)	N.D	N.D

Óxido de Rubídio	(Rb₂O)	N.D	N.D
Óxido de Estrôncio	(SrO)	0,06	0,06
Óxido de Ítrio	(Y₂O₃)	N.D	N.D
Dióxido de Zircônio	(ZrO₂)	0,01	0,01
Óxido de Nióbio	(Nb₂O₅)	0,01	N.D
Óxido de Chumbo	(PbO)	N.D	N.D
Perda de Fogo	(PF)	21,31	20,25
Total		100,00	100,00

*N.D = Não detectado; *TR = Traços.

Fonte: A autora (2023)

De acordo com os resultados expostos na Tabela 13, é possível notar resultados expressivos que demonstram a presença do óxido de cálcio (CaO) como elemento predominante, seguido pelo dióxido de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido ferro (Fe₂O₃) e trióxido de enxofre (SO₃), totalizando mais de 75% em massa.

Os óxidos presentes nas amostras (Tabela 13) fornecem em sua totalidade, resultados quantitativos dos elementos químicos comumente encontrados em amostras de compósitos cimentícios (FERNANDO, 2021) e corroboram com os resultados encontrados por Nascimento (2022). Ademais, cabe destacar que (CaO) e (SiO₂) são óxidos precursores para formação do gel silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (SANTOS, 2016).

No caso da quantidade majoritária de CaO presente das amostras, observa-se um leve aumento na pasta com adição de quitosana, de 0,43% comparação com a amostra padrão, resultando em um teor de 51,31%. Esse aumento se deve à quitosana possuir um elevador teor de cálcio, proveniente de sua origem, exoesqueletos de crustáceos, que contêm cerca de 40-55% de carbonatos de cálcio (ANTONNIO, 2007; ABREU *et al.*, 2013; COSTA FILHO, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2020).

4.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)/ Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS)

As características microestruturais dos compósitos cimentícios nessas análises foram avaliadas após 28 dias de hidratação. Os resultados dessas

análises estão apresentadas nas micrografias (Figuras 33 A e 33 B), com ampliações de 5.00 kx e a outra 10.00 kx para a amostra padrão, e nas Figuras 34 A e 34 B ampliações de 5,00 kx e 15,00 kx para a pasta com adição de 0,1% de quitosana.

O grau hidratação do cimento Portland aos 28 dias de cura progride cerca de 70-80% (METHA; MONTEIRO, 1994). Essa progressão da hidratação pode variar de acordo com o tempo e fatores como: tipo do cimento utilizado, finura, relação água/cimento, temperatura de cura e presença de aditivos químicos e minerais (COSTA, 2015).

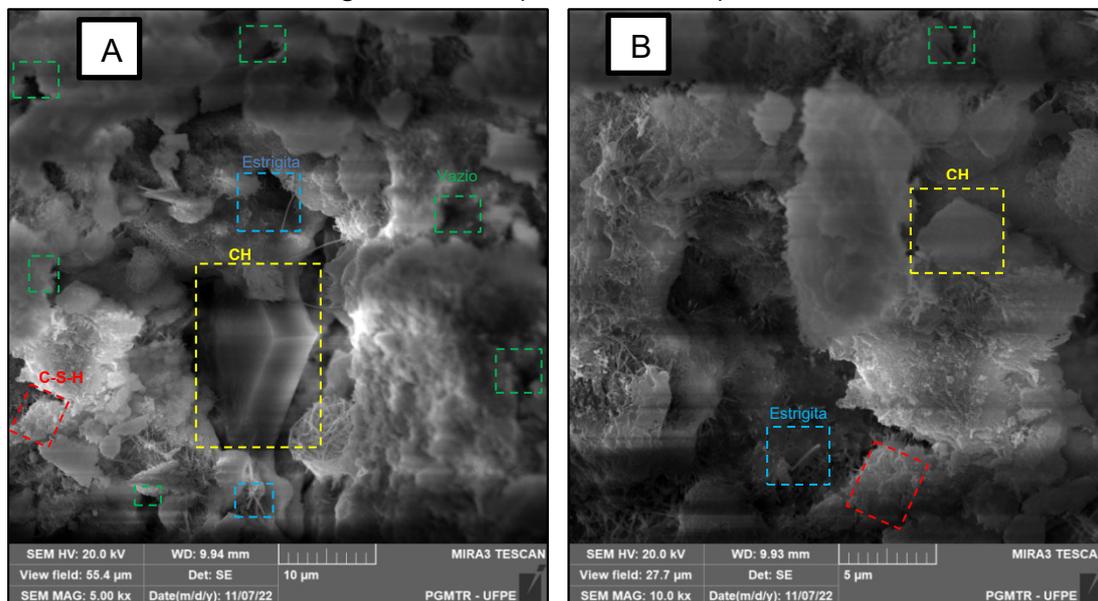
Neste sentido, observa-se, nas micrografias (Figura 33 e 34), que ambas as amostras (Padrão e 0,1% de quitosana) aos 28 dias, apresentam os principais produtos de hidratação formados a partir da reação dos compostos do cimento anidro (C_2S , C_3S , C_3A e C_4AF) com a água. São eles: o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), o hidróxido de cálcio (C-H ou portlandita) e sulfoaluminato de cálcio (Aft ou etringita), corroborando com as investigações de Salum (2016), Goldenberg Py (2018) e Santos (2019).

O silicato de cálcio hidratado (C-S-H), por exemplo, representa cerca de 60% do volume de sólidos existentes em um composto a base de cimento na fase de hidratação, sendo o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades do material (LI *et al.*, 2020; SIMONETO, 2020). Na micrografia da amostra padrão (Figura 33 A), nota-se a presença do C-S-H com características de um gel rígido, resultante da composição química entre os materiais constituintes na base do cimento (CILLI *et al.*, 2019). Observa-se também a característica morfológica do C-H em partículas maiores no formato hexagonal (BARTLEY, 2020), além da formação de agulhas que remetem à (Aft), conforme observado por Deng e He (2021).

Adicionalmente, percebe-se, a formação de vazios capilares em algumas regiões da amostra, fenômeno decorrente possivelmente devido à microestrutura dos materiais à base de cimento em fase de hidratação, que se

comporta como um sólido amorfo, tendendo a apresentar porosidade ou até mesmo microfissuras (LIU *et al.*, 2022).

Figura 33 - MEV aplicado à amostra padrão.



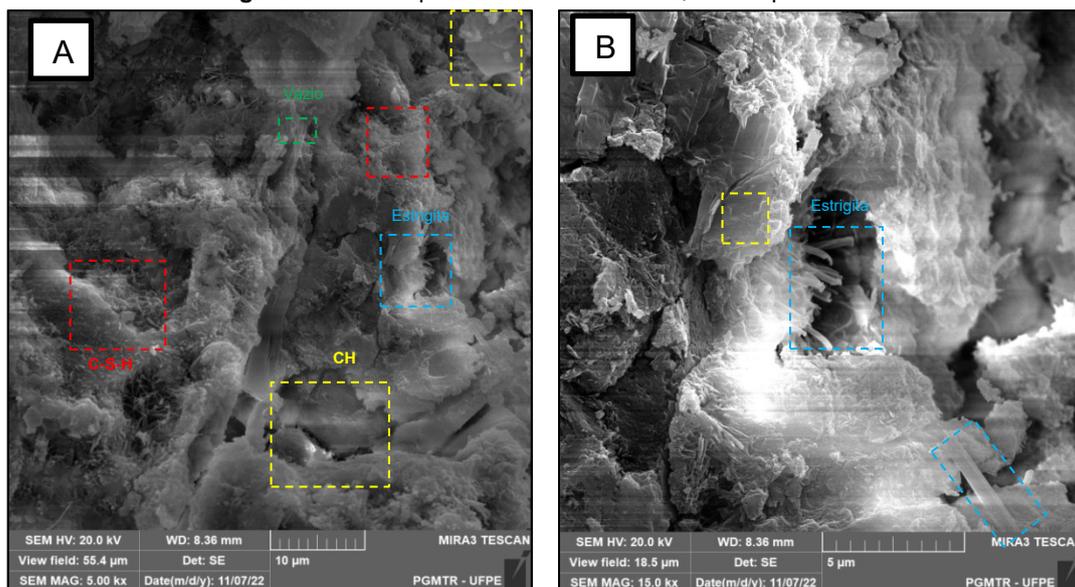
Fonte: A autora (2023)

Quanto às pastas com adição de 0,1% de quitosana observou-se também nas micrografias apresentadas (Figura 34), a presença dos principais produtos da hidratação do cimento. Ademais, notou-se uma microestrutura mais homogênea, com menos vazios em comparação com a pasta padrão. Esse desempenho é promissor, visto que a modificação foi positiva no comportamento mecânico do material resultando no preenchimento dos poros, ampliando a área de apoio da carga efetiva à qual o compósito é submetido. Isso é considerado favorável para a resistência mecânica, segundo indicado em pesquisas anteriores (FERREIRA, 2016; BALLESTEROS, 2018).

A redução dos poros na calda com 0,1% de quitosana pode estar associada à presença do biopolímero, como apontam García (2007), Bezerra (2016) e Santos (2019) em seus estudos. A quitosana contribui para uma maior uniformidade na pasta, devido à sua capacidade de interação no compósito cimentício, ou seja, sua presença organiza melhor a microestrutura da pasta, envolvendo os produtos hidratados do cimento Portland e formando membranas que encapsulam os grãos do aglomerante, resultando na redução dos vazios e,

consequentemente melhorando a resistência da amostra (USTINOVA; NIKIFOROVA, 2016; PIPOLO *et al.*, 2023). Essa constatação condiz com o resultado apresentado pela calda de injeção contendo 0,1% de quitosana no ensaio de resistência à compressão axial (Figura 32), sendo essa a amostra que demonstrou maior resistência, em comparação com a pasta padrão.

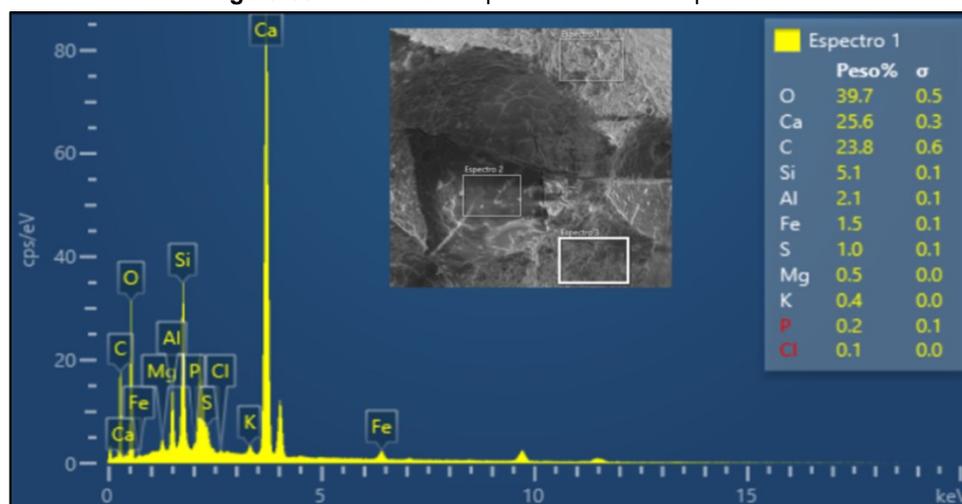
Figura 34 - MEV aplicado à amostra com 0,1% de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

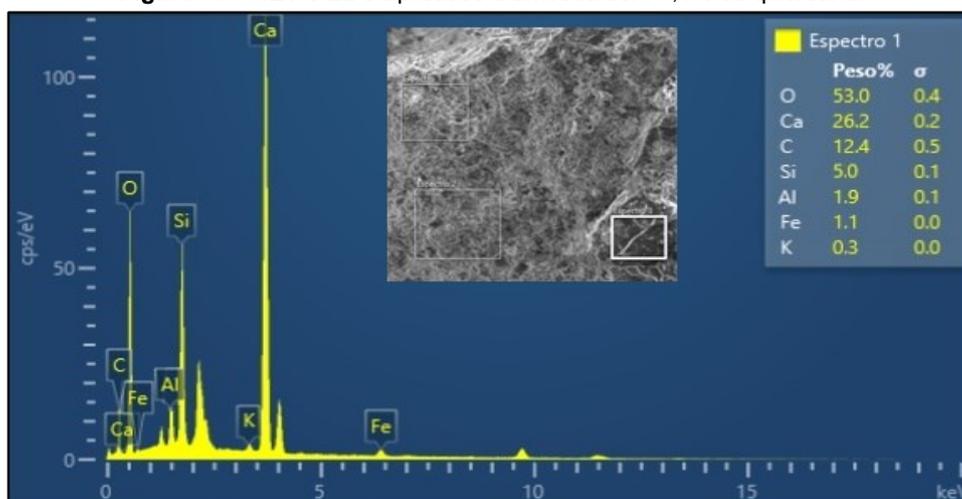
Para complementar a análise microestrutural, são apresentados nas Figuras 35 e 36 os espectros dos resultados obtidos pelo MEV (EDS) com o percentual em peso (wt%) dos elementos químicos presentes nas amostras da calda de injeção padrão e 0,1% de quitosana, respectivamente. Vale salientar que as regiões analisadas foram selecionadas aleatoriamente. Ao examinar esses espectros (Figura 35 e 36), observa-se uma predominância de oxigênio (O), cálcio (Ca) e carbono (C) em ambas as amostras. Esses elementos fazem parte do grupo dos principais componentes que caracterizam a formação dos óxidos constituintes da matéria-prima para a fabricação do clínquer (LIMA, 2021).

Figura 35 - MEV e EDS aplicados à amostra padrão.



Fonte: A autora (2023)

Figura 36 - MEV e EDS aplicados à amostra com 0,1% de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

A Figura 35 está relacionada à pasta padrão. Nota-se que, além dos elementos principais para a formação dos óxidos que compõem o clínquer, tais como o oxigênio (O), cálcio (Ca), carbono (C), silício (Si), alumínio (Al) e o ferro (Fe), indicando 39,7%, 25,6%, 23,8%, 5,1%, 2,1%, 1,5 %, respectivamente, também se constata a presença de enxofre (S), magnésio (Mg) e Potássio (K), estando eles compatíveis com os resultados encontrados por Torres *et al.* (2022). Neste caso, a proporção do (S), (Mg) e (K) no ponto analisado representa uma proporção pequena correspondente a 1,9%. Quando os elementos (S), (Mg) e (K) estão presentes em concentrações reduzidas nas pastas, é devido às

impurezas presentes na origem geológica dos minérios constituintes do cimento Portland (SANTOS, 2019).

Na amostra com adição de 0,1% de quitosana (Figura 36), observam-se os mesmos elementos, com exceção do enxofre (S) e do magnésio (Mg). Além disso, a amostra padrão e com adição de 0,1% de quitosana exibem percentuais semelhantes de cálcio (Ca), silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe) correspondendo a 25,9%, 5%, 2% e 1,3%, respectivamente. Percentuais semelhantes a esses foram encontrados por Alves (2022) na comparação das suas amostras no decorrer do seu trabalho.

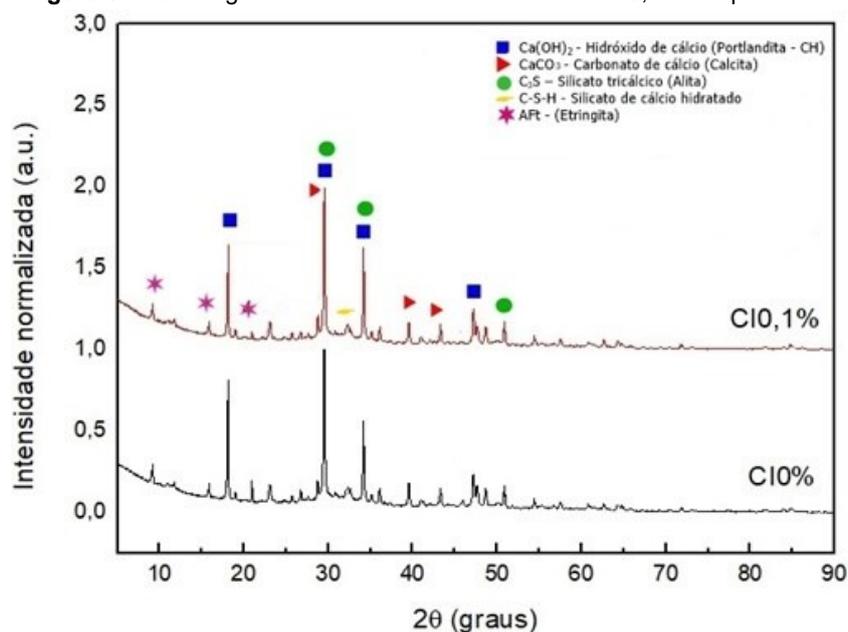
No que diz respeito à intensidade do cálcio (Ca), por exemplo, é possível perceber que ambas as amostras apresentaram um teor elevado, como demonstrado no estudo de Santos (2019). Esse alto teor indica a presença de cristais do silicato tricálcico C_3S (alita) no compósito cimentício, uma fase que realmente deve ser majoritária, comparada com as outras, devido à sua influência no endurecimento do cimento e desenvolvimento das resistências mecânicas até os 28 dias (SOUZA *et al.*, 2002; YOUNG; YANG (2019; COSTA, 2020).

Ademais, considerando o fato da amostra com 0,1% de quitosana apresentar um percentual maior, comparado à amostra padrão, registrando 26,2%, isso pode estar associado à presença da quitosana, pelo fato do biopolímero conter cálcio, resultado da ineficiência na etapa de desmineralização (EULÁLIO *et al.*, 2019).

4.3.3 Difractometria de Raios-x (DRX)

Através desta análise realizada, foi possível identificar as fases cristalinas presentes nas amostras da calda de injeção, bem como verificar o comportamento microestrutural dos compósitos.

Figura 37 - Difratomogramas das amostras: Padrão e com 0,1% de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

Ao comparar os resultados das caldas (Padrão e 0,1% de quitosana) nos difratogramas (Figura 37), observa-se que, a amostra com 0,1% de quitosana não apontou nenhum material cristalino diferenciado. Nota-se, portanto, que ambas as caldas expuseram comportamento semelhante em relação às fases cristalinas, apresentando os produtos hidratados típicos encontrados em pasta de cimento endurecida, tais como C-H, C-S-H, AFt e outros, só que, com diferença na intensidade de seus picos de energia. Os picos característicos identificados foram: Ca(OH)_2 nos ângulos de dispersão (2θ) $18,1^\circ$, $28,7^\circ$, $34,2^\circ$ e $47,1^\circ$; CaCO_3 em $29,40^\circ$, $39,40^\circ$ e $43,14^\circ$; C_3S (2θ) $29,5^\circ$, $34,2^\circ$ e $51,8^\circ$; AFt em $9,09^\circ$, $15,78^\circ$ e 22° ; e C-S-H em $\cong 33^\circ$, corroborando com os resultados de Cirino (2016) Santos (2017), Pipolo (2021) e Nascimento (2022).

Os picos relacionados à formação da fase etringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}$) proveniente da hidratação das fases aluminatos presentes no clínquer de cimento (SANTOS, 2019; CESARI, 2021), foram identificados em (2θ) $9,09^\circ$, $15,78^\circ$ e 22° . Observa-se, contudo, que na calda com adição da quitosana, houve uma diminuição dos picos $9,09^\circ$ e $22,9^\circ$. Esse comportamento significa que a adição do quitosana interfere na reação de hidratação do cimento Portland, sendo um componente fundamental na hidratação inicial do cimento (TAYLOR,

1997; GABRIEL, 2022; SILVA *et al.*, 2023). No mais, ressalta-se que, ao iniciar a hidratação dos materiais, algumas fases perdem a intensidade, enquanto outras se transformam em novas fases (BERENGUER, 2021).

No caso dos picos característicos da fase portlandita (Ca(OH)_2) detectados em (2θ) $18,1^\circ$, $28,7^\circ$, $34,2^\circ$ e $47,1^\circ$, cuja são formados pela hidratação das fases precursoras presentes no cimento Portland, como os silicatos de cálcio 3CaO.SiO_2 (C_3S) e 2CaO.SiO_2 (C_2S), também foi possível observar, na pasta com 0,1% de quitosana, uma pequena redução na intensidade do pico em torno de (2θ) $18,1^\circ$, consistente com os resultados de outras pesquisas (ANDRADE *et al.*, 2019; COSTA, 2019; FRAGA *et al.*, 2020; MARTINS 2022), quando em seus compósitos substituíram parcialmente o cimento Portland por um biopolímero.

Essa tendência à diminuição do pico de C-H pode estar ligada ao efeito retardador da quitosana na hidratação do cimento, indicando que, à medida que a quantidade da adição é acrescentada na composição, mais hidróxido de cálcio é consumido para a formação de C-S-H (BARRITA; LEÓN-MARTÍNEZ, 2016; ORTIZ *et al.*, 2021; HAIDER *et al.*, 2022; ZHANG; DU; SHI, 2022). Para alguns estudiosos (SABIR, 2001; MENDES, 2011; GOMES, 2022), a eliminação ou redução da portlandita no compósito cimentício pode resultar em maior resistência e durabilidade da pasta.

Posteriormente, embora a fase C-S-H seja considerada de difícil identificação por DRX, uma vez que sua natureza é dada como amorfa ou pouco cristalina, foi possível identificar indícios de uma pequena formação dessa fase amorfa nas duas amostras, em (2θ) 33° . Resultado similar, também foi encontrado por Machado *et al.* (2020), Berenguer (2021) e Menezes *et al.* (2020) o que justifica a presença dessa fase na pasta.

Atrelado a isso, observou-se também que, além dos produtos hidratados do cimento Portland, picos relativos à fase C_3S de grãos residuais do cimento anidro ainda foram identificados nas amostras, mais precisamente em (2θ) $29,5^\circ$, $34,2^\circ$ e $51,8^\circ$, de modo igual ao apontado nos difratogramas reportados por

Brasileiro (2021) e Nascimento (2022). A presença de grãos anidros do cimento, segundo alguns pesquisadores, é justificada pela ausência de água necessária para a hidratação completa, podendo ser causada por fatores como evaporação, materiais finos que a absorvem ou pelo contato impedido entre a água e o grão do cimento anidro (TAYLOR, 1997; COSTA *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2020).

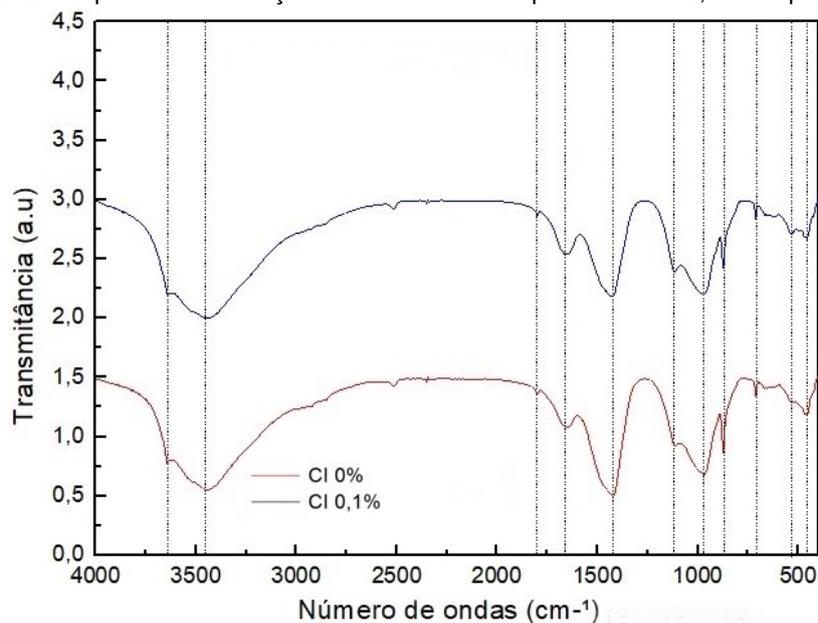
Os picos do carbonato de cálcio (CaCO_3) nos difratogramas das amostras da Figura 37 foram detectados em (2θ) 23° , $39,40^\circ$ e $43,1^\circ$, como nos estudos realizados por Brasileiro (2021) e Gonçalves (2021). Nesses difratogramas (Figura 37), observou-se, na calda com 0,1% de quitosana um leve aumento na intensidade do pico em (2θ) $43,14^\circ$, quando comparada com a pasta padrão. Essa variação na intensidade pode ser atribuída à presença da quitosana no compósito, pois ela estimula o crescimento da calcita, contribuindo para redução de poros e a densificação da matriz (ZHAO *et al.*, 2020; LENZ, 2022).

No mais, é importante salientar que nos difratogramas das amostras, a sílica ativa não apresentou nenhuma fase cristalina quartzo. Isso confirma que a sílica utilizada é predominantemente amorfa, conforme evidenciado nas pesquisas realizadas por Oliveira (2019) e Fraga, Soares e Capuzzo (2021).

4.3.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Na interpretação dos resultados obtidos nos espectros de FTIR, exposto na figura 38, foi possível notar similaridade entre ambas às amostras estudadas, com bandas presentes nas faixas de 450 cm^{-1} , 550 cm^{-1} , 711 cm^{-1} , 875 cm^{-1} , 965 cm^{-1} , 1120 cm^{-1} , 1421 cm^{-1} , 1650 cm^{-1} , 1799 cm^{-1} , 3443 cm^{-1} e 3644 cm^{-1} , corroborando com resultados semelhantes ao de diversas pesquisas (CHEN *et al.*, 2015; SANTOS, 2020; RIBEIRO, 2023; KANNAN *et al.*, 2022).

Figura 38 - Espectros de absorção FTIR das amostras padrão e com 0,1% de quitosana.



Fonte: A autora (2023)

No que diz respeito às bandas localizadas em $\approx 450 \text{ cm}^{-1}$ e 965 cm^{-1} , elas estão relacionadas ao estiramento da ligação Si-O nas vibrações do tetraedro, característico da presença do gel CSH pela vibração Si-O-Si, confirmando a hidratação do cimento (TARARUSHKIN *et al.*, 2020). O pico na faixa de $\approx 550 \text{ cm}^{-1}$ é equivalente às bandas de aluminato, devido ao alongamento dos grupos Al-O (FERNÁNDEZ-CARRASCO *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2019), e o pico na faixa de $\approx 1120 \text{ cm}^{-1}$ refere-se ao estiramento Si-O que, geralmente, se sobrepõe às bandas dos grupos SO_4^{2-} da etringita (MILOVIĆ *et al.*, 2016; JÚNIOR *et al.*, 2023).

As bandas correspondentes aos carbonatos (CO_3^{2-}) foram identificadas cerca de $\approx 711 \text{ cm}^{-1}$, $\approx 875 \text{ cm}^{-1}$ e $\approx 1421 \text{ cm}^{-1}$ (SHANMUGAVEL *et al.*, 2020; PIPOLO *et al.*, 2021). Entretanto, nas regiões de $\approx 875 \text{ cm}^{-1}$ e 711 cm^{-1} , refere-se à flexão simétrica fora do plano de (C-O) (SANTOS *et al.*, 2021), atribuídas à possível formação da vaterita (LONGKAEW *et al.*, 2023). Em relação à $\approx 1421 \text{ cm}^{-1}$, conforme indicado por alguns pesquisadores (PARVEEN *et al.*, 2015; SANTOS, 2018; HE, *et al.*, 2019; JOSE *et al.*, 2020), provavelmente está associado ao estiramento C=O do grupo (CO_3^{2-}). Resultados semelhantes a

esse decréscimo de calcita também foram encontrados nos estudos de Chagas, Resende e Guerreiro (2019) e Vieira (2022).

Quanto às bandas na região de $\approx 3443 \text{ cm}^{-1}$ e 1650 cm^{-1} , estas estão associadas à presença de vibrações da ligação O-H de silicatos hidratados ou da água fisicamente combinada (PANZERA *et al.*, 2010; NASCIMENTO 2022), caracterizada pelos géis de (C – S – H) contidos nas misturas (RIBEIRO, 2023). O pico em torno de $\approx 1799 \text{ cm}^{-1}$ está atribuído ao CaCO_3 (HE *et al.*, 2019). E então, o pico na faixa de $\approx 3640 \text{ cm}^{-1}$, que corresponde às bandas dos movimentos vibracionais das ligações Ca-OH, referente à portlandita Ca(OH)_2 , que é um dos principais produtos de hidratação do cimento (TAVARES, 2010; HARTMANN, 2019; BARTLEY, 2020; YANG; LI, 2022).

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados tendo em vista a utilização da quitosana como uma opção de material sustentável para substituir parcialmente o cimento Portland no desenvolvimento da calda de cimento para injeção, devido suas características, foi possível obter as seguintes conclusões:

- A adição da quitosana influenciou no escoamento da calda de cimento, resultando em uma leve diminuição na fluidez e vida útil da amostra com 0,1%. No entanto, os resultados permaneceram dentro dos requisitos normativos, estabelecidos pela ABNT NBR 7681-2: 2013.
- A incorporação de 0,1% de quitosana na amostra mostrou ser benéfica aos 28 dias de idade, apresentando um aumento de 8,9% na resistência à compressão axial em comparação com a amostra padrão.
- As análises estatísticas revelaram que a diferença entre as médias é estatisticamente significativa, ou seja, indicaram que a quitosana na calda causou uma variação na resistência.
- Análise de MEV, apontou em ambas as amostras a presença dos principais produtos do compósito cimentício, como silicato de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio (C-H ou portlandita) e sulfoaluminato de cálcio (AFt ou etringita). No entanto, a amostra padrão, apresentou-se com um maior volume de vazios.
- Na análise de EDS, foram identificados os elementos presentes nas amostras (Padrão e 0,1% de quitosana), sendo eles, oxigênio (O), cálcio (Ca), carbono (C), silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe). Mas, no caso da amostra com adição de 0,1% de quitosana, a calda apresentou um leve aumento no teor maior de cálcio (Ca).
- A análise de DRX indicou comportamentos semelhantes das fases cristalinas em ambas as amostras, com produtos hidratados típicos em pasta de cimento endurecida, como $(\text{CaOH})_2$, (CaCO_3) , (AFt), (C_3S) e (C-S-H). Ademais, observou-se um leve aumento na intensidade do pico (2θ) $43,14^\circ$, referente à fase da calcita, devidamente influenciada pela presença da quitosana no compósito.

- Mediante a análise de FTIR, constatou-se que ambas as amostras apresentaram comportamentos semelhantes quanto às bandas de absorção vibracional, indicando a presença, por exemplo, de bandas relacionadas aos polimorfos do carbonato de cálcio, gel C-S-H e outras.

As conclusões apresentadas indicaram que a quitosana pode substituir parcialmente o cimento em caldas de injeção, sem prejuízo quanto à resistência mecânica à compressão com a adição de 0,1% da quitosana, além de contribuir de forma positiva na microestrutura. No que diz respeito aos testes de fluidez e vida útil, embora o desempenho da amostra com quitosana tenha sido relativamente menor, quando comparado com a amostra padrão, os resultados alcançados ficaram dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7681:2013. Portanto, a utilização de 0,1% de quitosana como substituto parcial do cimento Portland na produção da calda de injeção é uma opção bastante favorável para ser incorporado na calda de injeção, além de poder contribuir com vários benefícios ambientais, como a redução da emissão do CO₂ e de outros gases de efeito estufa (GEE), problema esse que precisa ser resolvido com urgência. No mais, é importante salientar que, embora os resultados desta pesquisa sejam positivos, ainda são promissores, devido à necessidade da realização de mais ensaios e técnicas para aprimorar o desempenho da calda com o uso da quitosana.

5.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

As sugestões apresentadas a seguir surgiram durante a realização deste presente trabalho, as quais serão dadas continuidade e aprofundamento em trabalhos futuros.

- Análise do comportamento da quitosana na calda de cimento para injeção com outros percentuais de adição e dosagens, a fim de verificar o teor máximo da quitosana na amostra;
- Avaliação o comportamento das pastas em várias idades de hidratação e em outros tipos de curas, tipo em cura norma e em estufa;

- Realização de outros tipos de ensaios com a calda ainda não endurecida e depois dela endurecida, a fim de atestar com mais precisão os resultados óbitos, bem como analisar outras propriedades, tipo; trabalhabilidade; efeito calorimétrico; flexão entre outros;
- A utilização da quitosana diluída em algum ácido, como: ácido cítrico, acético, dentre outros, para avaliar uma possível interação melhor da quitosana na calda;
- Elaboração da calda de cimento para injeção com quitosana e o aditivo superplastificante à base de policarboxilato;
- Avaliação do comportamento da calda contendo quitosana quanto aos critérios de durabilidade;
- Análise de custo, viabilidade econômica e aplicabilidade prática.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106). (ABCP, 2002). Disponível em: www.abcp.org.br. Acesso em: 25 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Cimento Portland**. São Paulo 2023. Disponível em: www.abcp.org.br. Acesso em: 20 mar. 2023.

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

ABNT. NBR **13956-1**: Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR **13956-2**: Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 2: Ensaio químicos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR **13956-4**: Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 4: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR **16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. NBR **7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. NBR **7681-1**: Calda de cimento para injeção - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR **7681-2**: Calda de cimento para injeção - Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR **7681-3**: Calda de cimento para injeção - Parte 3: Determinação do índice de exsudação e expansão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR **7681-4**: Calda de cimento para injeção - Parte 4: Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ABREU, Flávia O.M. da S. et al. Propriedades e Características da Quitosana Obtida a Partir do Exoesqueleto de Caranguejo-Uçá Utilizando Radiação de Micro-Ondas. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 23, n. 5, p. 630-635, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.042>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/PkZcw6TvZxx7shg5X9cZwkP/?lang=pt#>. Acesso em: 10 dez. 2023.

ADIL, G., KEVERN, J.T., MANN, D. "Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete," **Construction and Building Materials**, v. 247, 2020.

Agência Internacional de Energia (IEA). Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement>. Acesso em: 23 abril. 2023.

AGOSTINHO, L. B. (2021). **ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE PASTAS DE CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA CONTENDO POLÍMERO SUPERABSORVENTE E NANOSÍLICA**. 2021. 222 f., il. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD 03A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 199p. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/41242?locale=fr>. Acesso em: 10 out. 2022

AGOSTINHO, L. B. *et al.* Rheological study of Portland cement pastes modified with superabsorbent polymer and nanosilica. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 34, p. 102024, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102024>.

AHMAD, Afnan *et al.* Microstructural Characterization of Fibric Peat Stabilized with Portland Cement and Silica Fume. **Materials**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 18-3, 20 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma16010018>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9820821/>. Acesso em: 25 mar. 2023.

ALMEIDA, J. M. F. DE *et al.* pH-Dependent release system of isoniazid carried on nanoparticles of silica obtained from expanded perlite. **Applied Surface Science**, v. 489, p. 297-312, 2019.

ALVES, Jady Caroline. Uso de Rejeitos de Calcário Para Produção de Tecossolos: **Alternativa para Disposição e Possibilidade de Recuperação de Áreas Degradadas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2022. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/7693/1/Jady%20Caroline%20Alves%20-%202022.pdf>. Acesso em: 10 out. de 2022.

AMARAL, M., MACIOSKI, G., & MEDEIROS, M. H. F. de .. (2021). Atividade pozolânica da sílica ativa: **análise em pastas cimentícias com diferentes teores de substituição**. *Matéria (Rio De Janeiro)*, 26(Matéria (Rio J.)), 2021 26(3), e13023. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13023>

ANDRADE NETO, J. S.; SANTOS, T. A.; MARIANO, R. D.; MORELLI, M. R.; RI-BEIRO, D. V. Influence of Clutch Disc Waste (Grinding Dust) on Portland Cement Hydration. **Key Engineering Materials**, v. 803, p. 284-288, 2019.

ANDRADE, D. S.; RÊGO, J. H. S.; MORAIS, P. C.; LOPES, A. N. M.; ROJAS, M. F. Investigation of C-S-H in ternary cement pastes containing nanosilica and

highly- reactive supplementary cementitious materials (SCMs): Microstructure and strength. **Construction and Building Materials**, v. 198, p. 445-455. 2019.

ANTONINO, Rayane de Queiroz et al. Preparation and Characterization of Chitosan Obtained from Shells of Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). **Marine Drugs**, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 141, 15 maio 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/md15050141>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/15/5/141>. Acesso em: 25 maio 2023.

ARANTES, M. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu - uma contribuição para a sustentabilidade**. 2020. 80 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Bergéticas e Nucleares, IPENCNEN/SP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-07102020-133716/pt-br.php>. Acesso em: 15 abril 2022.

ARAÚJO, Myrela Vieira de. **Compósitos Cimentícios reforçados com fibras do Epicarpo do Coco Babaçu para aplicação em placas cimentícias**. 2022. CXVIII, 118f. : il. color. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/15730/1/Dissertacao_CompositosCimenticiosReforcados.pdf. Acesso em: 05 jun. 2023.

ARSLAN, Hülya et al. The synthesis of a new chitosan based superplasticizer and investigation of its effects on concrete properties. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 204, p. 541-549, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.209>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819302247>. Acesso em: 10 dez. 2022.

Ashassi-Sorkhabi, H., Kazempour, A. (2020), "Chitosan, its derivatives and composites with superior potentials for the corrosion protection of steel alloys: A comprehensive review", **Carbohydrate Polymers**. 237:116110. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116110>.

Ashrafizadeh M. Delfi, M. Hashemi, F.Zabolian, A.Saleki, H. Bagherian, M. Azami, N. Farahani, M.V. Sharifzadeh S. O.Hamzehlou, S.Hushmandi, K.Makvandi, P.Zarrabi A.Hamblin, M.R.& Varma, R.S. (2021). Biomedical application of chitosan-based nanoscale delivery systems: Potential usefulness in siRNA delivery for cancer therapy. **Carbohydrate Polymers**, 260,117809, [10.1016/j.carbpol.2021.117809](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117809)

Askeland, D.R.; Wright, W.J. *Ciência e Engenharia dos Materiais*. Cengage Learning. Tradução da 4ª Ed. Americana. 2019. Cap. 3.

AZEVEDO, Afonso et al. Rheology, Hydration, and Microstructure of Portland Cement Pastes Produced with Ground Açaí Fibers. **Applied Sciences**, [S.L.],

v. 11, n. 7, p. 3036, 29 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11073036>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3036>. Acesso em: 12 jan 2023.

AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; LIA FOOK, M. V.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.2.3, p. 27-34, 2007.

BAHAFID, S. et al. Effect of the hydration temperature on the microstructure of Class G cement: **C-S-H composition and density**. **Cement and Concrete Research**, v. 95, p. 270–281, 2017.

BALLESTEROS, Julián Eduardo Mejía. **Compósitos cimentícios com polpa celulósica tratada por hornificação e curados por carbonatação acelerada**. 2018. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-08082018-133458/publico/DO8187636COR.pdf>. Acesso em: 10 jun 2023

BALUSHI, Khadija Salim Abdullah Al et al. Extraction of Bio Polymers from Crustacean Shells and its Application in Refinery Wastewater Treatment. **Walailak Journal Of Science And Technology (Wjst)**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 1-15, 26 fev. 2021. College of Graduate Studies, Walailak University. <http://dx.doi.org/10.48048/wjst.2021.11543>.

BARBOSA, Hellen F.G. et al. A new look towards the thermal decomposition of chitins and chitosans with different degrees of deacetylation by coupled TG-FTIR. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 225, p. 115232, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115232>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861719308999?via%3Di> hub. Acesso em: 10 maio 2023.

BARBOSA, W.; PORTELLA, K. F.. **Síntese e caracterização das fases minerais C3S, C2S, C3A e C4AF para utilização em cimento tipo Portland**. *Cerâmica*, [S.L.], v. 65, n. 373, p. 54-62, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653732460>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/RJftZVvHCqgh5WP8r5X94kp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2023.

BARREIROS, Pollyana Pereira. **Uma breve revisão da Técnica de Fluorescência de Raios-X (XRF) com ênfase da Fluorescência de Raios-X por Reflexão Total (TXFR) e algumas aplicações**. 2018. 18 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2018. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/399120413/XRF>. Acesso em: 09 ago. 2022.

BARTLEY, Bertilia Lauralee. Influência do tetraétil-ortossilicato e etilenoglicol no polimorfismo e morfologia de CaCO_3 em matrizes cimentícias na idade inicial de hidratação. São Cristóvão, 2020. 122 f.: il. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, 2020. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/14763/2/BERTILIA_LAURALEE_BARTLEY.pdf. Acesso em: 01 abr. 2023.

BORTOLETTO, Marcelo, GUIMARÃES, Paulo Victor Campos, SILVA, Rodrigo Garozi da e AKASAKI, Jorge Luís. Avaliação do resíduo Cinza da Madeira de Eucalipto como substituição parcial da areia em argamassas de cimento. **Revista Científica Anap Brasil**, v. 10, n. 18, p.80-93, 2017.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland . In: ISAIA, Geraldo C.. **Concreto: Ciência e tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 6. p. 185-232.

BATTISTI, Marcos Valério; CAMPANA-FILHO, Sergio P.. Obtenção e caracterização de α -quitina e quitosanas de cascas de *Macrobrachium rosenbergii*. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 8, p. 2014-2019, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000800019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QzpTTMkwrPbYnrqBWTq5KxH/#>. Acesso em: 15 abr. 2023.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. Vol. 1, 6 Ed – Rio de Janeiro, 2019.

BEAUDOIN, J.; ODLER, I. Hydration, Setting and Hardening of Portland Cement. In: HEWLETT, Peter C.; LISKA, Martin. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. 5. ed. Amsterdam: Elsevier B.V., 2017. Cap. 5. p. 157-250.

BENHELAL, Emad et al. Challenges against CO₂ abatement strategies in cement industry: a review. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 104, p. 84-101, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074220304769>. Acesso em: 19 mar. 2023.

BERENGUER, Romildo Alves. **Química de materiais de construção: novas perspectivas de propriedades micro e macroscópicas de concretos**. 2021. Tese (Doutorado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/41517>. Acesso em: 16 mai. 2023.

BERGER, L. R. R. et al. Agroindustrial waste as ecofriendly and low-cost alternative to production of chitosan from Mucorales fungi and antagonist effect against *Fusarium solani* (Mart.) Sacco and *Scytalidium lignicola*

Pesante. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 161, p. 101–108, 2020.

BERNARDO, Julia. **Estudo da desidratção de glicerol sobre CuO/SiO₂ reduzidos em diferentes temperaturas**. 2023. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química do Petróleo), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/51871/1/TCC_JULIA%20BERNARDO.pdf.

BERTEQUINI, Aline Botini Tavares et al. Estudo Da Resistência À Compressão Do Concreto Reforçado Com Adição De Sílica Ativa. **Revista Engenharia em Ação Unitoledo**, Araçatuba, Sp, v. 4, n. 2, p. 18-34, dez. 2019. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/3324>. Acesso em: 26 jan. 2023.

BEZERRA, Carolina Goulart. **Caracterização do rejeito de minério de ferro (IOT) e avaliação da sua influência no comportamento físico-químico e mecânico de pastas de cimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/9756>. Acesso em: 26 nov. 2022.

BEZERRA, U. T.; FERREIRA, R. M.; CASTRO-GOMES, J. P. The effect of latex and chitosan biopolymer on concrete properties and performance. **Key Engineering Materials, Switzerland**, v. 466, p. 37-46, 2011.

BEZERRA, Ulisses Targino. **Compósitos Portland biopolímero para cimentação de poços de petróleo**. Natal, RN, 2006. 287 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais.

BEZERRA, Ulisses. Rheological Properties Of Portland Cement Slurries Containing Biopolymer: Effects Of The Variation Of The Water/Cement Ratio, **Ageing And Biopolymer Concentration**. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305562147_rheological_properties_of_Portland_cement_slurries_containing_biopolymer_effects_of_the_variation_of_the_watercement_ratio_ageing_and_biopolymer_concentration. Acesso em: 15 dez. 2022.

BILCATI, G. K., Costa, M. do R. de M. M. da ., & Paulino, R. S.. (2022). **Efeito do reforço multi-escala fibra de celulose-microcelulose cristalina na fase de hidratação de pastas de cimento Portland**. *Matéria (rio De Janeiro)*, 27(4), e20220220. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0220>.. Acesso em: 10 mai. 2023.

BITTENCOURT, Túlio N. O futuro do concreto: eficiência e desenvolvimento sustentável em foco. 4ª ed. Especial Construção expo, 2016.

BLEICHER, Lucas; SASAKI, José Marcos. **Introdução à difração - de raios-x em cristais**. 2000. Universidade Federal do Ceará. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2774701/mod_folder/content/0/apostila_raios_x.pdf?forcedownload=1. Acesso em: 09 fev. 2023.

BOBU, E.; NICU, R.; LUPEI, M.; CIOLACU, F.; DESBRIÈRES, J. Synthesis and characterization of N-Alquyl Chitosan for papermaking applications. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 45, n. 910, p. 619–625, 2011.

BOUDOUAIA, Nacer.; BENGHAREZ, Zohra.; JELLALI, Selah. Preparation and characterization of chitosan extracted from shrimp shells waste and chitosan film: application for Eriochrome black T removal from aqueous solutions. **Appl Water Sci** 9, 91, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0967-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-0967-z#citeas>. Acesso em: 25 maio 2023.

BRASIL, Matheus Dutra. **Estudo do comportamento do cimento Portland com a incorporação de resíduos do beneficiamento de argilas bentonitas**. Vitória da Conquista/BA: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, 2019, 66p. Trabalho de Conclusão de Curso.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e Comunicações – MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, 2020

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**. Brasil. 2. ed. Brasília, 2014

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – **A Agenda 21**. 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. Acesso em: 09 set. 2022

BRASILEIRO, Gisela Azevedo Menezes. 2013. **Produção, caracterização e avaliação da durabilidade de compósitos cimentícios com partículas de pó de coco**. São Cristóvão, 2013. 168 f. : il. Tese (doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, 2013. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/11603/2/GISELA_AZEVEDO_MENEZES_BRASILEIRO.pdf. Acesso em: 04 mai. 2023.

BRENDLER, Isabele Catori. **ESTUDO DO DESEMPENHO DE CALDAS DE INJEÇÃO. INFLUÊNCIA DO PLASTIFICANTE**. 2020. 109 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia da Construção, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2020. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/21935/1/Brendler_Isabele.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

BRIGODE, C., HOBBI, P., JAFARI, H., VERWILGHEN, F., BAETEN, E., & SHAVANDI, A. (2020). Isolation and physicochemical properties of chitin polymer from insect farm side stream as a new source of renewable

biopolymer. **Journal of Cleaner Production**, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122924>.

BROQUÁ, J. et al. **Methods of Chitin Production a Short Review**. Am J Biomed Sci & Res, p. 307–314, 2019.

BULLARD, J. W.; JENNINGS, H. M.; LIVINGSTON, R. A.; NONAT, A.; SCHERER, G. W.; SCHWEITZER, J. S.; SCRIVENER, K. L.; THOMAS, J. J. Mechanisms of cement hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 41 (12), p. 1208-1223, 2011.

BUSCA, Guido. Infrared (IR) Spectroscopy. Springer Handbook Of Advanced Catalyst Characterization, [S.L.], p. 3-32, 2023. **Springer International Publishing**. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-07125-6_1. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-07125-6_1. Acesso em: 20 jun. 2023.

CABRAL, Marllon Victor Soares. **Soluções aquosas de celulose microcristalina tratada superficialmente (TMCC) para desenvolvimento de compósitos cimentícios com melhor desempenho mecânico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38729>. Acesso em: 20 fev. 2023.

CAETANO, Phablo Henrique Cunha. Análise do comportamento no estado fresco e endurecido de pastas álcali ativadas à base de cinzas de combustão de carvão mineral e de escória de aciaria. 2021. 72 f. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58847/1/2021_tcc_phccaetano.pdf. Acesso em: 04 mai. 2023.

CAI, Rongjin et al. The early hydration of metakaolin blended cements by non-contact impedance measurement. 2018. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 92, p.70-81. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.001>. Acesso em: 01 jul. 2023.

CALABRÒ, E.; MAGAZÙ, S. A review of advances in the analysis of biological systems by means of Fourier Transform Infrared (FTIR) **Spectroscopy**. 2016. **Research Gate**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327549454_A_review_of_advances_in_the_analysis_of_biological_systems_by_means_of_fourier_transform_infrared_FTIR_spectroscopy. Acesso em: 01 fev. 2023.

CALLISTER, W.; RETHWISCH, D. **Materials science and engineering: an Introduction**, 7ª edição. New York: John Wiley & Sons, 2018.

CAMPELO, Karoline AzerÊdo. **Metabolismo Nitrogenado De Novilhas Jersey Alimentadas Com Quitosana Ou Grão De Soja Cru Nas Dietas**. 2015. 41 f.

TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

Campos, M. A., Passos, L., Ferrão, A. M. de A., & Júnior, A. L. M. (2019). Utilização de filer cerâmico e sílica ativa na composição de argamassa com baixo teor de cimento / The use of ceramic filler and active silica with low cement content mortar. **Brazilian Journal of Development**, 5(7), 9876–9890. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-160>

Cano-Barrita, P. F. J., León-Martínez, F. M. (2016) "Biopolymers with viscosity-enhancing properties for concrete" in: **Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials**. Elsevier W.P., cap. 11, pp. 221-252. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100214-8.00011-7>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081002148000117?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CARDOSO, T. C. **Propriedades físico-químicas, hidratação e reologia de cimentos ternários com reduzido teor de clínquer a partir de argila não calcinada e filer calcário**. 2020. Dissertação (Mestrado de Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/231558/001132033.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 jun. 2023.

Castelló, M. E.; Anbinder, P. S.; Amalvy, J. I.; Peruzzo, P. J. Production and characterization of chitosan and glycerol-chitosan films. **MRS Advances**. 2018, 3, 3601. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/adv.2018.589>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CASTRO, V. G. Cimento Portland . In: **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro** [online]. Mossoró: **EdUFERSA**, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1.

CATAURO, Michelina et al. New SiO₂/Caffeic Acid Hybrid Materials: synthesis, spectroscopic characterization, and **bioactivity**. **Materials**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 394, 15 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma13020394>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/2/394>. Acesso em: 05 mar. 2023.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **O que é desenvolvimento sustentável?**. Disponível em: <<https://cebds.org/development-sustainable/#.YNDA-WhKhPY>>. Acesso em 14 de nov. 2022.

CECHIN, Luana et al. Comparação entre ácidos para a extração de sílica a partir do farelo de trigo. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 1-15, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2022-0164>. Acesso em: 19 abr. 2023.

CEMBUREAU. The role of cement in the 2050 low carbon economy. 2019. **The european cement association**. Disponível em: https://cembureau.eu/media/cpvoins5t/cembureau_2050roadmap_lowcarboneyconomy_2013-09-01.pdf. Acesso em: 19 dez. 2022.

CENTURIONE, Sérgio Luiz. **A Mineralização do Clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos**. 1999. 146 p. Tese (Doutorado) - Curso de Mineralogia e Petrologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CESARI, Vanessa Fernandes. Estudo das propriedades micro-nanomecânicas na interface matriz/microfibras de aço em concretos de ultra-alto desempenho com adição de nanocarbonato de cálcio. 2021. 146. Tese (doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/227097/PECV1250-T.pdf?sequence=-1>. Acesso em: 15 jan. 2023.

CHAGAS, Grasielle de Moraes; RESENDE, Eliane Cristina de; GUERREIRO, Mário César. **Tratamento da lama vermelha com CO₂ e ácido acético para aplicação em sistemas Tipo Fenton e Fotocatálise**. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 24, n. 3, p. 1-13. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0738>. Acesso em: 05 jun. 2023.

CHEN, L.; WANG, X.; JIA, Z.; LUO, Y.; JIA, D. Use of precipitated silica with silanol groups as an inorganic chain extender in polyurethane. **Materials & Design**, v. 87, p. 324–330, 2015.

CHEN, M.; YANG, L.; ZHENG, Y.; HUANG, Y.; LI, L.; ZHAO, P.; WANG, S.; LU, L.; CHENG, X. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up. **Construction and Building Materials**, v. 252, p. 1 – 10, 2020

CHEN, Yan et al. Wintering Swan Geese maximize energy intake through substrate foraging depth when feeding on buried **Vallisneria natans tubers**. **Avian Research**, [S.L.], v. 10, n. 1, 25 fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1186/s40657-019-0145-x>. Acesso em: 19 maio 2023.

CHENG, S.; SHUI, Z.; GAO, X.; YU, R.; SUN, T.; GUO, C.; HUANG, Y. Degradation mechanisms of Portland cement mortar under seawater attack and drying-wetting cycles. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 230, p. 116934, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116934>.

CHOI, Se-Jin et al. Engineering Characteristics of Cement Composites Containing a Chitosan-Based Polymer and Steel Slag Aggregates. **Polymers**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 626, 6 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym14030626>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/3/626>. Acesso em: 01 mar. 2023.

CHOUDHARY, H. K.; ANUPAMA, A. V.; KUMAR, R.; PANZI, M. E.; MATTEPPANAVAR, S.; SHERIKAR, B. N.; SAHOO, B. Observation of phase transformations in cement during hydration. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 122- 129, 2015.

CILLI, Sabrina L et al. Otimização de metodologia de obtenção de pastas cimentícias contendo hidrogéis. *Journal Of Experimental Techniques And Instrumentation*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1-9, 31 mar. 2019. **Journal of Experimental Techniques and Instrumentation**. <http://dx.doi.org/10.30609/jeti.2019-7474>. Disponível em: 10.30609/JETI.2019-7474. Acesso em: 10 abr. 2023.

CIRINO, M. A. G. **Estudo de pastas de cimento Portland com adições de cinzas de carvão mineral para uso na cimentação de poços de petróleo**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil)–Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/23347>. Acesso em: 16 mar. 2023.

CORDEIRO, Ana Carla. **Análise da qualidade fisiológica de sementes de trigo tratadas com Tiametoxam através de técnicas óticas**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27976/1/qualidadefisiologicatecnicasoticas.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2022.

CORREIA, L. S *et al.* A. Uso de análise de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura para caracterização de materiais de construção contendo rejeitos de tijolos. 21° **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Cuiabá, 2014.

COSTA FILHO, C. F. B. **Produção de quitosana a partir de exoesqueleto de camarão (*litopenaeus vannamei*) em diferentes tamanhos de partículas** avaliando a atividade antibacteriana em bactérias gram positivas e gram negativas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. 2017. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/1006/5/carlos_fernando_britto_costa_filho.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023

COSTA, B. L., FREITAS, J. C., SANTOS, P. H., *et al.* Carbonation in oil well Portland Cement: Influence of hydration time prior to contact with CO₂, **Construction and Building Materials**, v. 159, pp. 252- 260, Jan. 2018

COSTA, Fernanda Nepomuceno. **Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clínquerização**. 2020. 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2020. Disponível em: <https://repositoriodev.ufba.br/handle/ri/33041?locale=es>. Acesso em: 25 abr. 2023.

COSTA, Filipe Johnatan Martins Dantas. **Comportamento térmico e mecânico de compósitos cimentícios contendo quitosana para aplicação em poços de petróleo sujeitos à injeção de vapor**. 2019. 102 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/28606/1/Comportamentotermico_mecanico_Costa_2019.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023

COSTA, Filipe Johnatan Martins Dantas. **Desenvolvimento de compósitos cimentícios para cimentação de poços direcionais**. 97f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, 2018.

COSTA, Leonardo Martins. **Influência da pozolanicidade na ativação alcalina** [recurso eletrônico]. 1 recurso online (xix, 120 f. : il., color. 2020: pdf. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Apêndices: f. 112-120. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/36178/1/Influencia%20da%20pozolanicidade%20na%20ativacao%20alcalina.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CRUZ, J. B. D, CATÃO, C. D. D. S. BARBOSA, R. C., & FOOK, M. V. L.. Síntese e caracterização de arcabouços de quitosana com agente antineoplásico. **Matéria (Rio de Janeiro)**, vol. 21, no. 1, pp. 129–140,2016. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160001.0012>

CRUZ, João Gonçalves da. **Síntese e caracterização de derivados da quitosana hidrofobizados com óleo essencial de citronela (Cymbopogon winterianus)**. 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/30974/3/2018_dis_jgcruz.pdf. Acesso em: 16 fev. 2023.

CULLITY, B.D. **Elements of X-Ray Diffraction**, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1978. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1301967](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1301967). Acesso em: 16 fev. 2023.

CUNHA, Hugo André de Souza. **Avaliação Dos Teores De Aditivos Plastificantes Em Pastas De Cimentos Portland**. 2022. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

CZIGLER, T. *et al.* Laying the foundation for zero-carbon cement: The cement industry is a top source of CO2 emissions, but abatement pressures could prompt efforts to reimagine the. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-**

5420 - xª edição – Data da publicação - página 23 de 25business. Mckinsey e Company, v. 40, n. 2, p. 9, 2020.

DA SILVA, A. R. et al. Substituição Parcial Do Cimento Portland Por Resíduo De Cerâmica Vermelha Em Argamassas: **Estudo Da Atividade Pozolânica**. n. 2009, p. 1144–1154, 2016.

DANTAS, Márcio Henrique de Oliveira. **Avaliação dos efeitos da adição nanossílicas em pó e coloidal em pastas de cimento Portland**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Programa de Pós-graduação em Engenharia civil e ambiental, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10509>. Acesso em: 16 jun. 2023.

DEDAVID, Berenice Anina *et al.* Microscopia eletrônica de varredura : aplicações e preparação de amostras : materiais poliméricos, metálicos e semicondutores: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 60 p. Disponível em: <https://ebooks.pucrs.br/edipucrs/acessolivre/livros/microscopia.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

DENG, H.; HE, Z. Interactions of sodium chloride solution and calcium silicate hydrate with different calcium to silicon ratios: a molecular dynamics study. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 268, p. 121067, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121067>.

DHIR, R. K. et al. Concrete-Related Applications. *Sustainable Construction Materials*, p. 139–195, 1 jan. 2018.

DIAS, Elizete Faustino et al. Síntese E Caracterização De Nanopartículas De Sílica Obtidas A Partir Da Perlita Expandida. In: **Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica (ECICT)**, 32., 2021, Natal, Rio Grande do Norte. Anais [...] . [S.L.]: Cnpq, 2022. p. 238-247. Disponível em: https://arquivos.info.ufrn.br/arquivos/2022053039c6bd10747348625d34ef896f/I_Q_compressed.pdf. Acesso em: 06 maio 2023.

DIAS, L. V., Soares, S. M., Salvador Filho, J. A., Ferreira, F. G. S. (2021), "Avaliação da migração de cloretos em compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com pó de vidro", **Revista ALCONPAT**, 11 (2), pp. 61 – 75, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.512>

DIAS, Raquel Pedroso et al. CIMENTO LC³: EMISSÕES, INOVAÇÕES E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO NO BRASIL. **Revista Técnico-Científica do Crea-Pr**, [s. l], v. 28, p. 1-25, 15 jun. 2022. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/807>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DIMA, J. B., ZARITZKY, N. E. (2019) "**Quitosano obtenido de desechos de la industria pesquera y su aplicación como adsorbente de metales pesados**",

in: Perez, T. Los residuos que generamos. Su manejo sustentable, un gran desafío. Buenos Aires, ANCEFN, cap. 5, pp. 83-108.

DOMES, X. A. L. Cement grouting during installation of ground anchors in noncohesive soils. Tese de Pós Doutorado. Norwegian **University of Science and Technology**, 2015, 225p.

DUARTE, Fernanda Karoline Monteiro de Melo. Métodos construtivos empregados em parques eólicos com fundações dos tipos convencional e Jabalcones no Rio Grande de Norte e Bahia, 2021.TCC (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/33981>. Acesso em: 04 maio 2023.

Eberle AL, Mikula S, Schalek R. Imagens de alta resolução e alto rendimento com um microscópio eletrônico de varredura multifeixe. **Revista de Microscopia**. 2015;259(2):114-120

EDDYA, Mohammed; TBIB, Bouazza; EL-HAMI, Khalil. A comparison of chitosan properties after extraction from shrimp shells by diluted and concentrated acids. *Heliyon*, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 1-17, fev. 2020. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03486>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020303315>. Acesso em: 15 maio 2023.

El Knidri, H., Dahmani, J., Addaou, A., Laajeb, A., & Lahsini, A. (2019). Rapid and efficient extraction of chitin and chitosan for scale-up production: Effect of process parameters on deacetylation degree and molecular weight. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.079>

ELGALHUD, A. A.; DHIR, R. K.; GHATAORA, G. Limestone addition effects on concrete porosity. **Cement and Concrete Composites**, v. 72, p. 222–234, 2016.

ELÓI, Fernanda Pereira da Fonseca. **Ativação alcalina do Rejeito de Barragem de Minério de Ferro com adição de Sílica Ativa**. 2020.67 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/12677/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Ativa%C3%A7%C3%A3oAlcalinaRejeito.pdf. Acesso em: 06 maio 2023.

EULÁLIO, Eliza Juliana da Costa et al. **Membranas de Quitosana e Quercetina para Aplicação em Ulcerações Epiteliais: desenvolvimento e caracterização**. Aracaju/Se: Ifs, 2019. 167 p. Disponível em: http://www.ifs.edu.br/images/EDIFS/ebooks/2019.2/E-Book_-_Membranas_de_quitosana_e_quercetina.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

FALESCHINI, F. et al. High performance concrete with electric arc furnace slag as aggregate: Mechanical and durability properties. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 113–121, 2015.

FARAHÍ, E. et al. **Supercritical carbonation of calcareous composites: Influence of curing**. *Cement and Concrete Composites*, v. 43, p. 48–53, 2013.

FARINHA, Sofia Paulos de Jesus Coroado. **ANÁLISE ELEMENTAR DE TUMORES E OUTRAS SITUAÇÕES CLÍNICAS COM BASE NO MÉTODO DA FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X**. 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Dentária, Instituto Universitário Egas Moniz, Portugal, 2020. Disponível em:

https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/35378/1/Farina_Sofia_Paulos_de_Jesus_Coroado.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

FASCIO, Antônio. Construção Civil **Tipos de cimento: confira suas aplicações e as variedades de produtos**. [S. l.]: Papo de Engenheiro, 5 out. 2021. Disponível em: <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/venha-conhecer-os-diferentes-tipos-de-cimento-e-suasaplicacoes/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

FAUSTINO, Carolina Longo. Análise de recalques em microestacas injetadas (Incopiles) submetidas a esforços de compressão em solo de diabásio, em Campinas – SP. [s.n.], 2021. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

FEITOSA, Pedro Henrique Gomes. **Desenvolvimento de manta termoacústica à base de fibra de milho e quitosana**. Monografia (Curso de Engenharia Civil). Centro Universitário Christus. Fortaleza. 2021

Fernández-Carrasco, L.; Torrens-Martín, D.; Morales, LM; Martínez-Ramírez, S. Espectroscopia de infravermelho na análise de edificações e materiais de construção. **Em Espectroscopia Infravermelha – Ciência, Engenharia e Tecnologia de Materiais**; Theophanides, T., Ed.; InTech: Rijeka, Croácia, 2012; pp. 369–382.

FERNÁNDEZ-CARRASCO, Lucia et al. Infrared Spectroscopy in the Analysis of Building and Construction Materials, *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*, 2012. Prof. Theophanides Theophile (Ed.), ISBN: 978-953-51-0537-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-materials-science-engineering-and-technology/infrared-spectroscopy-of-cementitious-materials>

FERREIRA, E. G. A., et al..Influence of the irradiation in cement for the Brazilian radioactive waste repositories: Characterization via X-ray diffraction, X-ray tomography and quasielastic neutrons cattering *Physica B: Condensed Matter* 551, 256–261. 2018.

FERREIRA, Marcos Guimarães. Aplicação de espectroscopia de infravermelho com transformada de fourier na busca de marcadores diagnósticos em pacientes com leucemia mieloide aguda. 2021. 69 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/3399> Acesso em: 16 mar. 2023.

Fortes, Gustavo Mattos. **Obtenção e caracterização de cimentos sulfobelíticos sintetizados a partir do resíduo de bauxita**. UFSCar, 2013.158 p. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/909/5513.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2023.

FRAGA, Y.S.B.; RÊGO, J.H.S.; CAPUZZO, V.M.S.; ANDRADE, D.S.; MORAIS, P.C. Ultrasonication and synergistic effects of silica fume and colloidal nanosilica on the C-S-H microstructure. **Journal of Building Engineering**. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101702>

FRAGA, Yuri Sotero Bomfim et al. Efeito da ultrasonicação da sílica ativa e da nanossílica coloidal em pastas de cimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 1-16, 11 dez. 2020. ISSN 1517-7076. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1147>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/cLx6r5RLmFZxdKDKQbp8pjQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FRAGA, Yuri Sotero Bomfim et al. Influência da densificação da sílica ativa nas propriedades de materiais cimentícios. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 229-242, set. 2021. **FapUNIFESP (SciELO)**. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300548>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/H79hBqjbPRhMcNmNmG9nTb/#>. Acesso em: 19 jan. 2023.

FREITAS JR, J. A. **Aditivos e adições minerais para concreto**. 2017. Disponível em: http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/d/db/2_Aditivos_2018.pdf. Acesso em: 08 nov. 2022

FREITAS JUNIOR, José de Almendra; ARTIGAS, Laila Valduga. **Materiais de Construção: a estrutura do concreto**. Paraná, 2019. 40 slides, color. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/07/TC-030-Qu%C3%ADmica-e-prop-da-%C3%A1gua-2019.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2023.

FUSCO, P. B. . Princípios Básicos para Projeto de Estruturas de Concreto. In: IBRACON - instituto Brasileiro do Concreto. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ed. São Paulo: Ispis Gráfica e Editora, 2011, v. 1, p. 101-126. Disponível em: https://www.academia.edu/43120794/Tecnologia_do_Concreto_Estrutural. Acesso em: 12 jan. 2023.

GALHARDO, Pedro Gutierrez. **Estudo da produção de cimento com ênfase no classe g**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GALVÃO, Jaíne Késsia Lira. **Desenvolvimento e caracterização de compósito cimentício híbrido reforçado com fibras curtas de malva e resíduos madeireiro**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

GARCÍA, C. M. V. Avaliação do impacto do uso do filer calcário como substituição ao cimento no comportamento reológico e retração de microconcretos. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-23062017-162907/pt-br.php>. Acesso em: 18 nov. 2022.

GARCÍA, Marcela Inés. **Adição De Biopolímero Em Pastas De Cimento Para Utilização Em Poços De Petróleo**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/14840/MARCELAvf.pdf;jsessionid=54649E9CEE7DFC11A2A0BBCE508CB86C?sequence=1>. Acesso em: 06 dez. 2022.

GARCÍA-GONZÁLEZ C. et al. New insights on the use of supercritical carbon dioxide for the accelerated carbonation of cement slurries. **Journal of Supercritical Fluids**, v.43 n.3, p.500–509, 2008.

GILIO, C. G.; SAKAMOTO, C. A.; FIGUEIREDO, V. A.; ALCÂNTARA, M. A. de M. Comparação do solo-cimento auto adensável convencional e com adição de sílica ativa. **Revista Científica ANAP Brasil**, [S. l.], v. 12, n. 24, 2019. DOI: 10.17271/19843240122420191981. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1981. Acesso em: 29 mar. 2023.

Gobbi, A. (2014). Atividade pozolânica de adições minerais pela NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: **Uma análise crítica a partir de métodos complementares**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Grad. em Eng. de Construção Civil - Universidade Federal do Paraná, Brasil. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/37265/R%20-%20D%20-%20ANDRESSA%20GOBBI.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 25 maio 2023.

Góes, P. B. de B., Patriota, A. L. S., & Carneiro, A. M. P. (2021). Estudo em pastas de cimento com substituição de finos de agregado reciclado / Study on cement pastes with recycled aggregate fines substitution. **Brazilian Journal of Development**, 7(8), 81510–81528. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-389>

GOLDENBERG PY, Lucas. Potential use of porcelain polishing residue as supplementary cementitious material in the partial replacement of Portland cement. 2018. UniRitter. p1-84. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322317441_Potential_use_of_porcelain_polishing_residue_as_supplementary_cementitious_material_in_the_partial_replacement_of_Portland_cement/citations. Acesso em: 10 de jan de 2023

GOLVEIA, J. C. S. Biossorção de micropoluentes em fibra de sabugo de milho e detecção analítica usando fluorescência de raio x, espectroscopia Raman e análise quimiométrica. 2021. 91 f. Tese (Doutorado em Inovação Farmacêutica em Rede) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11414>

GONÇALVES, Beatriz. **Evolução De Fases Durante A Hidratação Do Cimento Portland Brasileiro Por Difração De Raios X**. 2021. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências dos Materiais, Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Sp, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15634>. Acesso em: 16 mar. 2023.

GONÇALVES, C. S. **Aproveitamento de resíduo agroindustrial para formulação de pastas de cimento para poços de petróleo**. 2013. Monografia apresentada ao curso de Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

Gopinathan, S., Anand, KB. **Propriedades de caldas de cimento modificadas com escória ultrafina**. 2017. Fronteiras da Engenharia Estrutural e Civil, 12(1), 58–66. DOI:10.1007/s11709-017-0383-01. Disponível em: <https://scihub.se/https://doi.org/10.1007/s11709-017-0383-0> Acesso em: 6 fev. 2022.

Grigoletto, Flávia Müller. **Resíduos de construção e demolição em materiais álcali-ativados**. 2023. Dissertação (mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: https://sig.cefetmg.br/sigaa/public/programa/defesas.jsf?lc=pt_BR&id=305. Acesso em: 10 maio 2023.

GRUSZCZYŃSKI, M.; LENART, M. Durability of mortars modified with the addition of amorphous aluminum silicate and silica fume. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, [S.L.], v. 107, p. 102526, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102526>.

GUDINHO, Daisa Soares et al. Estudo Literário Da Dosagem De Concreto Autoadensável Com Adição De Sílica Ativa. Puc Goiás, Goiás, p. 1-14, 10 jun. 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4227>. Acesso em: 26 jan. 2023.

GUILGE, M.S. **Desenvolvimento de ligante hidráulico a partir de resíduos de Cimento Hidratado, Tijolo Cerâmico e Metacaulinita**. Dissertação

(Mestrado em Habitação). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2011.

Guilherme, D. Callister. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução** / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch ; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. -[Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/46847686/Ci%C3%Aancia_e_Engenharia_de_Materiais_Uma_Introdu%C3%A7%C3%A3o_9a_Edi%C3%A7%C3%A3o_Callister

GUILLANTE, P. Avaliação de parâmetros químicos e mineralógicos de materiais cimentícios suplementares na mitigação da reação álcali agregado. São Leopoldo, 159 p., 2018. Dissertação (Mestrado) – UNISINOS. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7419>. Acesso em: 06 mar. 2023.

GUO, Yangyang et al. A review of low-carbon technologies and projects for the global cement industry. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 136, p. 682-697, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2023.01.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074223000268#bib0066>. Acesso em: 05 maio 2023.

HAIDER, Md Mostofa et al. Insights into setting time, rheological and mechanical properties of chitin nanocrystals- and chitin nanofibers-cement paste. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 132, p. 104623, set. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104623>. Acesso em: 15 jun. 2023.

HANEIN, T.; GLASSER, F. P.; BANNERMAN, M. N. Thermodynamic data for cement clinkering. **Cement and Concrete Research**, v. 132, paper 106043, 2020.

HARTMANN, Wagner Luiz. **Avaliação do uso de agregado leve à base de resíduos de placa de circuito impresso (pci) em matrizes cimentícias**. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais. Universidade Feevale. Novo Hamburgo – RS, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/00001f/00001f3c.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

HE Z.; CAI R.; CHEN E.; TANG S. The investigation of early hydration and pore structure for limestone powder wastes blended cement pastes. **Construction and Building Materials**. Volume 229. p. 116923. 2019

HE, Chao et al. Waste shrimp shell-derived hydrochar as an emergent material for methyl orange removal in aqueous solutions. **Environment International**, [s.l.], v. 134, p. 105340, jan. 2020. ELSEVIER BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105340>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019332398>. Acesso em: 25 abr. 2023.

HENRIQUES, Renata Leal. **Utilização Da Microscopia Eletrônica De Varredura (Mev) Para Avaliação Da Ação De Cloretos Em Compósitos De Matriz Cimentícia**. 2019. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Produção e Gestão do Ambiente Construído, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30975/1/Monografia-Renata%20Leal.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

HERMANN, A., LANGARO, E. A., SILVA, S. H. L. D., & KLEIN, N. S.. (2016). Particle packing of cement and silica fume in pastes using an analytical model. **Revista IBRACON De Estruturas E Materiais**, 9(1), 48–65. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000100004>

HEWLETT, P.; LISKA, M. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. 5. ed. [s.l.] Butterworth-Heinemann, 2019.

HIDALGO A., DOMINGO, C., GARCIA, C., *et al.* Microstructural characterization of leaching effects in cement pastes due to neutralisation of their alkaline nature: Part I: Portland cement pastes, **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 1, pp, 63-70, Jan. 2007.

HO, V. D.; NG, C-T.; COGHLAN, C. J.; GOODWIN, A.; GUCKIN, C. M. C.; OZBAKKALOGLU, T.; LOSIC, D. Electrochemically produced graphene with ultra large particles enhances mechanical properties of Portland cement mortar. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 234, p. 117403, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117403>.

HOLANDA, A. L. **Membranas de quitosana para uso em sistema de liberação controlada de insulina: síntese e caracterização**. 2011. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

HOPPE FILHO, J. et al. **Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores**. *Cerâmica*, [S.L.], v. 61, n. 358, p. 168-177, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581905>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324595225_Ataque_de_matrizes_cimenticias_por_sulfato_de_sodioadicoes_minerais_como_agentes_mitigadores. Acesso em: 25 maio 2023.

HOPPE FILHO, Juarez et al. **Potencial De Mitigação Do Ataque Por Sulfatos Provocado Por Adições Minerais**. In: 1 Congresso Brasileiro De Patologia Das Construções, 1., 2014, Foz do Iguaçu, Pr. Artigo. Foz do Iguaçu, Pr: Researchgate, 2014. p. 1-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324844158_Potencial_de_mitigacao_

do_ataque_por_sulfatos_provocado_por_adicoes_minerais. Acesso em: 28 nov. 2022.

HOYOS, C. G. et al. Cellulose composites for construction applications. In: THAKUR, Vijay Kumar. Applications of Cellulose/Polymer Composites Lignocellulosic Polymer Composites, Processing, **Characterization, and Properties**. 5. ed. Scrivener Publishing LLC, 2014. p. 435-452. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118773949.ch19>. Acesso em: 14 maio 2021.

IBER, Benedict Terkula et al. Response Surface Methodology (RSM) Approach to Optimization of Coagulation-Flocculation of Aquaculture Wastewater Treatment Using Chitosan from Carapace of Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii*. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1058, 20 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15041058>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/4/1058>. Acesso em: 15 maio 2023.

IEA; WBCSD. **Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - xª edição – Data da publicação - página 24 de 25. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>>. Acesso em: 7 jan. 2023.

IFUKU, Shinsuke et al. Preparation of Chitin Nanofibers from Mushrooms. **Materials**, [S.L.], v. 4, n. 8, p. 1417-1425, 12 ago. 2011. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma4081417>. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-80053315339&origin=inward&txGid=a0aca6616b9a489e3d0a9ade79120a0a>. Acesso em: 05 jun. 2023.

Isa, Muhammed. Kinetics of Demineralization of Shrimp Exoskeleton in Chitin and Chitosan Synthesis. **Journal of Chemical Engineering and Material Science**. v 4. Pp. 32-37. april 2013. DOI 10.5897/JCEMS. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280520670_Kinetics_of_Demineralization_of_Shrimp_Exoskeleton_in_Chitin_and_Chitosan_Synthesis. Acesso em: 10 abr. 2023

Ismail, A. F., Khulbe, K. C., Matsuura, T., Ismail, A. F., Khulbe, K. C., & Matsuura, T. (2019). RO membrane characterization. **Reverse Osmosis; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands**, 57-90.

ISSAHAKU, Ibrahim; TETTEH, Isaac K.; TETTEH, Antonia Y.. Chitosan and chitosan derivatives: recent advancements in production and applications in environmental remediation. **Environmental Advances**, [S.L.], v. 11, p. 100351, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100351>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266676572300011X>. Acesso em: 12 jan. 2023.

JIANG, S.; SHAN, B.; OUYANG, J.; ZHANG, W.; YU, X.; LI, P.; HAN, B. Rheological properties of cementitious composites with nano/fiber fillers. **Construction and Building Material**, v. 158, p. 786 – 800, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.072>

JOSE, Anu et al. Characterization of cement stabilized pond ash using FTIR spectroscopy. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 263, p. 120136, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120136>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343785477_Characterization_of_cement_stabilized_pond_ash_using_FTIR_spectroscopy. Acesso em: 10 jul. 2023.

Jože Luzar *et al.* NMR spectroscopy-supported design and properties of air lime-white cement injection grouts for strengthening of historical masonry buildings, **Construction and Building Materials**, Volume 250, 2020, 118937, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118937>.

JUENGER, M. C. G.; SNELLINGS, R.; BERNAL, S.A. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. **Cement and Concrete Research**, v. 122, p. 257–273, 2019.

JUILLAND, P.; GALLUCCI, E.; FLATT, R.; SCRIVENER, K. Dissolution theory applied to the induction period in alite hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 40 (6), p. 831-844, 2010.

JUNG, Zumhin Prado Salmeron. **Cimento sustentável: Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Anima Educação. Ages, p. 1-30, jun. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24034/1/TCC%20ZUMHIN%20PRADO%20REV%20FINAL.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2023.

KANNAN, Uthradevi et al. A waste-derived nanocomposite sealant for repairing micro-cracks in concrete. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 48, p. 103965, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103965>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221018234#bib18>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Kaufmann, Gabriela. **Avaliação do potencial tecnológico de hidrogéis de quitosana reticulados com genipina na entrega oral de fármacos**. 2022. 85 p. 11., graf., tab. 30 cm. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em BioCiências, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufcspa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1878/1/%5BDISSERTA%C3%87%C3%83O%5D%20Kaufmann%20Gabriela%20%28P%29.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

KAWANO, Yoshio. Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho. In: CANEVAROLO JÚNIOR, V, Sebastião (org.). **TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE POLÍMEROS**. São Paulo, Sp: **Artliber Editora Ltda.**,

2017. Cap. 1. p. 17-39. Disponível em: https://www.artliber.com.br/amostra/tecnicas_de_caracterizacao_de_polimeros.pdf. Acesso em: 23 nov. 2022

KOCAK, Yilmaz. Effects of metakaolin on the hydration development of Portland –composite cement. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 31, p. 101419, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101419>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220302564?via%3Dihub>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Koytsoumpa, E.I., Bergins, C., Kakaras, E., 2018. The CO2 economy: review of CO2 capture and reuse technologies. **J. Supercrit. Fluids** 132, 3–16, <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.029>

KRITCHENKOV, A. S. et al. Efficient reinforcement of chitosan-based coatings for ricotta cheese with non-toxic, active, and smart nanoparticles. **Progress in Organic Coatings**, v. 145, n. February, p. 105707, 2020.

KURDOWSKI, Wieslaw. **Cement and concrete chemistry**. London: Springer, 2014. 705 p.

KUYYOĞSUY, Arnannit. Preparation and Characterization of Chitosan obtained from Pacific White Shrimp Shells and its in vitro Antifungal Activity. **Asian Journal Of Chemistry**. [S.L.], v. 32, n. 10, p. 2515-2519. out. 2020. <http://dx.doi.org/10.14233/ajchem.2020.22779>. Disponível em: https://asianjournalofchemistry.co.in/user/journal/viewarticle.aspx?ArticleID=32_10_18. Acesso em: 15 maio 2023.

KUZIELOVÁ, Eva et al. Phase Composition of Silica Fume - Portland Cement Systems Formed under Hydrothermal Curing Evaluated by FTIR, XRD, and TGA. **Materials**, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 2786, 24 maio 2021. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ma14112786>. Acesso em: 01 jul. 2023.

KUZIELOVÁ, E. *et al.* Efeito simultâneo de sílica ativa, metacaulim e escória granulada moída de alto-forno na hidratação de ligantes cimentícios multicomponentes. **J. Therm. Anal. Calorim.** 2019, 136, 1527–1537.

LABAHN, O. **Prontuario del cemento**. 5ª ed. Editores técnicos associados, s. a. Barcelona. p.1016. 1985.

LAKHSSASSI, M. Zerzouri et al. The effect of aggressive environments on the properties of a low calcium fly ash based geopolymer and the ordinary Portland cement pastes. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 13, p. 1169-1177, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.085>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319306777>. Acesso em: 19 jan. 2023.

LASCOSK, Luiza. **VALORIZAÇÃO DA CINZA INDUSTRIAL NA REMOÇÃO DA DIPIRONA SÓDICA E ESTUDO DE SUA REATIVIDADE EM MATRIZ DE CIMENTO PORTLAND**. 2022. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Utfpr) – Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/30223/1/cinzaindustrialremocaodipironasodica.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023

LASHERAS-ZUBIATE, M. et al. Effect of the addition of chitosan ethers on the fresh state properties of cement mortars. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 34, n. 8, p. 964-973, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.04.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512000996#b0035>. Acesso em: 05 nov. 2022.

LASHERAS-ZUBIATE, M.; NAVARRO-BLASCO, I.; FERNANDEZ, J. M.; ALVAREZ, J. I. J. **Haz. Mat.**, p. 233-234, v. 7, 2012.

LAVAGNA, Luca; NISTICÒ, Roberto. An Insight into the Chemistry of Cement—A Review. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 203, 23 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13010203>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/203>. Acesso em: 16 mar. 2023.

LEÃO, Anderson Luiz Soares. **Utilização da lignina alcalina como aditivo em pastas de cimento portland classe G e sua influência no processo de carbonatação**. 2019. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/28080/1/Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20lignina%20alcalina_Le%C3%A3o_2019.pdf. Acesso em: 23 jan. 2023.

LEHNE, Johanna; PRESTON, Felix. Making Concrete Change: innovation in low-carbon cement and concrete. **Chatham House Report**. Naoshima, Japão, p. 1-138. jun. 2018. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2023.

LEWIS, R. C. Properties of Fresh and Hardened Concrete Containing Supplementary Cementitious Materials, p. 99–121, 2017

LI, F.; LIU, L.; LIU, K.; ZHENG, A.; LIU, J. Investigation on waterproof mechanism and micro-structure of cement mortar incorporated with silicane. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 239, p. 117865, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117865>

LI, L.; LIU, W.; YOU, Q.; CHEN, M.; ZENG, Q.; ZHOU, C.; ZHANG, M. Relationships between microstructure and transport properties in mortar containing recycled ceramic powder. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 263, p. 121384, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121384>.

LI, X. *et al.* Preclinical effectiveness of an experimental tricalcium silicate cement on pulpal repair. **Materials Science and Engineering: C**, [S.L.], v. 116, p. 111167, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2020.111167>.

LIMA, Érica K. A. de *et al.* Comparative analysis between chemotherapy and chitosan nanofibers ahead of malignant neoplasms. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e32711326644, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26644. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26644>. Acesso em: 21 mar. 2023.

LIMA, F. S. **Análise estrutural de uma longarina compósita para uma aeronave esportiva leve**. 2019. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10347>

LIMA, Paulo Henrique Alves de. **Avaliação do concreto geopolimérico como substituto do concreto de cimento Portland**: resistência mecânica, resistência ao fogo e ACV. João Pessoa, 2021. 59 f.: il. Dissertação (Mestrado) UFPB/CEAR. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/26336>. Acesso em: 10 out. de 2022.

LIN, Run-Sheng *et al.* Hydration and Microstructure of Cement Pastes with Calcined Hwangtoh Clay. **Materials**, Korea, v. 123, n. 458, p. 1-20, fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi:10.3390/ma12030458>

LIN, Y.; DU, H. Graphene reinforced cement composites: a review. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 265, p. 120312, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120312>.

LIU, J.; LIU, J.; FAN, X.; JIN, H.; ZHU, J.; HUANG, Z.; XING, F.; SUI, T. Experimental analysis on water penetration resistance and micro properties of concrete: effect of supplementary cementitious materials, seawater, sea-sand and water-binder ratio. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 50, p. 104153, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2022.104153>.

LIU, Yunxia *et al.* **Structural Characterizations of Aluminosilicates in Two Types of Fly Ash Samples from Shanxi Province**, North China. **Minerals**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 358. 12 jun. 2019. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/min9060358>. Acesso em: 15 jun. 2023.

LONGKAEW, Khansinee et al. Using sucrose to prepare submicrometric CaCO₃ vaterite particles stable in natural rubber. **Advanced Powder Technology**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 103924, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2022.103924>.

LOPES, Karina Leonetti. **Avaliação de argamassa com incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194134?show=full>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LOUIS, Stevenson Pierre. **Cálculo E Análise De Tensões Residuais Por Difração De Raio-X Em Aço 1045 Tratado Termicamente**. 2019. 96 f. TCC (Graduação). Engenharia de Materiais, Instituto Latinoamericano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/5413/Stevenson%20tcc.13.22docx-convertido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2022.

LUO, T., ZHOU, Y., WANG, Q. "Influence of ultra-fine slag and silica fume on properties of highstrength concrete," **Magazine of Concrete Research**, v. 72, n. 12, pp. 610–621, 2020.

MA, C.; WANG, F.; ZHOU, H.; JIANG, Z.; REN, W.; DU, Y. Effect of early-hydration behavior on rheological properties of borax-admixed magnesium phosphate cement. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 283, p. 122701, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122701>.

MA, S.; AKCA, A. H.; ESPOSITO, D.; KAWASHIMA, S. Influence of aqueous carbonate species on hydration and carbonation of reactive MgO cement. **Journal of CO₂ Utilization**, [S.L.], v. 41, p. 101260, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101260>.

MA, Z.; YAO, Y.; LIU, Z.; WU, B.; WEN, Z. Effect of calcination and cooling conditions on mineral compositions and properties of high-magnesia and low-heat Portland cement clinker. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 260, p. 119907, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119907>.

MA, X.; CHEN, H.; WANG, p. Effect of TiO₂ on the Formation of Clinker with High C₃S. **Journal of Wuhan University of Technology**, v. 4, n. 5, p. 830-833, 2009.

Mababa Diagne, Mame Codou Ndiaye, Lèna Sow, Reinforcement of the ground by injection of cement grout for the installation of piles in karstified limestone

zone, **Case Studies in Construction Materials**, Volume 12, 2020, e00310, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00310>.

MACENO, Daiele Munique de Souza Costa dos Santos. **Produção de biofilmes à base de Quitosana para a liberação controlada de Naproxeno**. 69 p. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riiu/4610>. Acesso em: 10 abr. 2023

MACHADO, C. L., Sousa, L. R. de ., Silva, J. S. da, Andrade, H. M. C., & Gonçalves, J. P.. (2020). Efeito do dióxido de carbono supercrítico em pastas de cimento contendo catalisador residual de FCC. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 25(1), e–12574. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0899>.

MACHADO, Cleice Lins et al. **Efeito do dióxido de carbono supercrítico em pastas de cimento contendo catalisador residual de FCC**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-18, nov. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0899>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/KqrtPDBqZ3mZ8p3jxHNKr6y/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MACIEL, Lucas Damas et al. Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 1-9, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1211>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1211>. Acesso em: 26 fev. 2023.

MAJEKODUNMI, Stephen Olaribigbe et al. Material properties of chitosan from shells of *Egeria radiata*: drug delivery considerations. **Journal Of Coastal Life Medicine**, [S.L.], v. 5, n. 7, p. 321-324, 13 jul. 2017. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine Press. <http://dx.doi.org/10.12980/jclm.5.2017j7-2>.

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura**. Laboratório de caracterização microestrutural e análise de imagem. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf. Acesso em: 26 fev. 2023.

MAO, Xiaowei *et al.* Bioinspired surface functionalization of biodegradable mesoporous silica nanoparticles for enhanced lubrication and drug release. **Friction**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1194-1211, 17 out. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40544-022-0648-z>. Acesso em: 16 fev. 2023.

MAREI, Narguess H. et al. Isolation and characterization of chitosan from different local insects in Egypt. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 82, p. 871-877, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.024>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813015300313?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jun. 2023.

MARIANI, B. B.; ANDRADE NETO, J. S.; AMORIM JÚNIOR, N. S.; RIBEIRO, D.V. **Efeito da incorporação de resíduo de TiO₂ (MNR) na formação das fases mineralógicas de clínquer Portland**. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 1, p. 57-71, 2019.

Martins et al., (2023). **Circular economy in the construction sector: a case study**. *SOCIUS Working papers*, nº 01/2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/27973>. Acesso em: 7 maio. 2023.

MARTINS, G. L. O. (2018). **Influência do teor de sílica amorfa na atividade pozolânica de adições minerais altamente reativas**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 4A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 131p. Disponível em: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M18-4A-Gabriel-Martins.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2023.

MARTINS, Marcelo et al. **Análise microestrutural de aços inoxidáveis altamente ligados: da amostragem à interpretação**. 2008, Anais. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008. . Acesso em: 11 abr. 2023.

MATOSKI, Adalberto et al. Estudo da influência da adição de carvão mineral e redução de areia em argamassa de revestimento, em sua resistência à influência e absorção de água por capilaridade / Estudo da influência da adição de carvão mineral e redução de areia em argamassa, em sua resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 8, n. 2, pág. 11853–11868, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n2-227. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/44126>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MEDEIROS, M. A. R. **Propriedades mecânicas de compósitos de PVC reciclado reforçados com fibras de sisal e de nylon 6**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/9720>. Acesso em: 11 jun. 2022.

MEDEIROS, M. G.; NADALETI, W. C.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M.; GLEISE, P. J. P.; CASTILHOS, A. B. A cleaner material production by the incorporation of the rockwool waste into Portland cement matrices. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 293, p. 126059, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126059>.

Mehta, A., Ashish, D. K. (2020), Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100888>

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. 3 ed., New York: McGraw-Hill, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO DUARTE, Juliana. **Quimiometria aplicada à discriminação de veículos pela análise de fragmentos de tintas automotivas por ATR-FTIR**. Brasília, 2021. 76 p. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências e Tecnologias em Saúde) -- Universidade de Brasília, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/42263>. Acesso em: 23 nov. 2022

MELO, F. M. A. de. **Preparação e caracterização de nanocompósitos quitosana/bentonita**. 2010. 38 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2010. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4085>

MELO, N. F. C. B. et al. Quality of postharvest strawberries: comparative effect of fungal chitosan gel, nanoparticles and gel enriched with edible nanoparticles coatings. **International Journal of Food Studies**, v. 9, n. 2, p. 373–393, 2020.

MELO, P. T. S. et al. Combining cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) puree, pectin, and chitosan nanoparticles into novel edible films for food packaging applications. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 8, p. 2228–2233, 2019.

Mendes, A.; Gates, WP; Sanjayan, JG; Collins, F. NMR, XRD, IR e estudos espectroscópicos síncrotron NEXAFS de OPC e OPC/escória de pasta de cimento hidratada. **Amigo. Estrutura**. 2011 , 44 , 1773–1791.

Mendonça, A. M. G. D., Souza, L. M. C. de, Lira, Y. C., Neto, V. F. de S., Luz, T. E. B., Nunes, C. G. L., Pereira, P. H. dos S., & Diniz, M. I. L. (2021). Argamassas manufaturadas com substituição parcial do cimento por PET triturado/ Mortars manufactured with partial substitution of cement by crushed PET. **Brazilian Journal of Development**, 7(5), 44099–44109. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29193>

MENEZES, Raquel Maria Rocha Oliveira et al. Efeito do teor de água e tamanho de partícula na decomposição térmica de pastas de cimento moídas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-12, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0888>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/85Y7qdyPFp6rRFsrKGMNFpm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 abr. 2023.

MILIÃO, Gustavo Leite et al. PH influence on the mechanisms of interaction between chitosan and ovalbumin: a multi-spectroscopic approach. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 123, p. 107137, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107137>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21005531?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MILOVIĆ, T. et al. COMPRESSIVE STRENGTH AND MINERALOGICAL PROPERTIES OF CEMENT PASTE CONTAINING ZEOLITE. In: 4 TH INTERNATIONAL CONFERENCE, 2016, Serbia. Anais do 4th **International Conference**. Serbia: 4 Th International Conference, 2016. v. 1, p. 397 - 403.

MIRANDA, C. S.; FIUZA R. P.; OLIVEIRA, J.; CARVALHO, R.F.; GUIMARÃES, D.H.; JOSÉ, .NM. Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Composites Developed from Glycerol and Dicarboxylic Acids Reinforced with Piassava Fiber. **Macromolecular Symposia**, v.319, p. 74-82, 2012.

MIRANDA, Frederico Horta. **Estudo da resistência ao cisalhamento na interface solo-grampo com o uso de calda aditivada e calda convencional**. Viçosa, MG, 2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. f.134-139. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/27882/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

Miranda, Mariane Gonçalves *et al.*, Análise Comparativa Entre Métodos De Quantificação De Fases Em Aços Utilizando DRX , p. 2751-2759. In: 73º **Congresso Anual da ABM**, São Paulo, 2018. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-279

MIURA, VINICIUS T.; ZAMBONI, CIBELE B.; GIOVANNI, DALTON N. S.; SANTOS, PAULA A.D.A. de S.; RIZZUTTO, MARCIA A. Sua foto é um documento histórico. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, October 21-25, 2019, Santos, SP. Proceedings... Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Energia Nuclear**, 2019. p. 3180-3185. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/30673>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MODLER, Luís Eduardo Azevedo. **Avaliação Reológica do Período de Consolidação de Argamassas Colantes**. 160 p.; 30 cm. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2017.

MOHAMAD, N. et al. Environmental impact of cement production and Solutions: **A review**. **Materials Today**: Proceedings, 2021.

MOHAMED, M. A. et al. **Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy**. [s.l.] Elsevier B.V., 2017.

Mohan, K., Muralisankar, T., Jayakumar, R., & Rajeevgandhi, C. (2021). A study on structural comparisons of α -chitin extracted from marine crustacean shell waste. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, 2, 100037, 2021.10.1016/j.carpta.2021.100037

MOHAN, Kannan et al. Green and eco-friendly approaches for the extraction of chitin and chitosan: a review. *Carbohydrate Polymers*, [S.L.], v. 287, p. 119349, jul. 2022. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119349>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861722002533#bi0005>. Acesso em: 06 mar. 2023

MOTA, Roger Machado. Avaliação da influência da temperatura de moagem do clínquer e do tempo de armazenamento do cimento em silos no comportamento da falsa pega do cimento Portland CPI-S. Dissertação (mestrado em Engenharia química) – Universidade Federal de Sergipe, 2019. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/17077/2/ROGER_MACHADO_MOTA.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

MOURA, Alexandre Amado de. **Argamassa com substituição parcial do cimento por resíduos industriais**. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3760>. Acesso em: 06 mar. 2023.

MOURA, Lorany Silva de. Análise Experimental De Concretos Com Adição De Carapaças De Caranguejo-Uçá (*Ucides Cordatus*) Na Avaliação Das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido. 2017. 36 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas – To, 2017.

MUXIKA, A. et al. Chitosan as a bioactive polymer: Processing, properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p. 1358–1368, 2017.

NAQI, Ali; JANG, Jeong. Recent Progress in Green Cement Technology Utilizing Low-Carbon Emission Fuels and Raw Materials: a review. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 537, 21 jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11020537>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/2/537>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NASCIMENTO, Carlos Fernando Gomes do. **Compósitos cimentícios com adição de grafeno puro multicamadas: investigação de efeitos em propriedades estruturais, morfológicas, químicas e mecânicas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46440>. Acesso em: 21 jul. 2022.

NASCIMENTO, Pedro Henrique Mello do. **Estudo da hidratação do cimento Portland com adição de fíler calcário**. 2022. x, 58p.: il; 29,7 cm. Projeto de Graduação. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/projpoli10037594.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Porto Alegre: Bookman, (Tradução). 5ª ed. 2016. 912 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete technology**. 3 ed. Edinburgh: Pearson, 2010.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. Inglaterra: PEARSON, 5ª ed, 2011. 1267 p.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: BOOKMAN, 2ª ed, 2013. 448 p.

NGUYEN, Viet-Hung; REMOND, Sébastien; GALLIAS, Jean-Louis. Influence of cement grouts composition on the rheological behaviour. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 41, n. 3, p. 292-300, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884610002589#bb0095>. Acesso em: 25 nov. 2022.

NI, C.; WU, Q.; YU, Z.; SHEN, X. Hydration of Portland cement paste mixed with densified silica fume: from the point of view of fineness. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 272, p. 121906, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121906>.

NI, T.; MA, W.; YANG, Y.; YU, J.; LIU, J.; JIANG, C.; GU, C. Interface reinforcement and a new characterization method for pore structure of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 267, p. 121052, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121052>.

NOBRE, T. R. S. et al. Estudo do efeito de altos teores de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em pastas cimentícias: análise por DRX Blucher. **Blucher Proceedings**, 49-55. 2017.

NOBREGA, Andreza Kelly Costa. **Formulação de pastas cimentícias com adição de suspensões de quitosana para cimentação de poços de petróleo**. 2009. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12751>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NOVIKOV, Vitaly Yu. et al. Mechanism of Heterogeneous Alkaline Deacetylation of Chitin: a review. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1729, 30 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15071729>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/7/1729>. Acesso em: 10 abr. 2023.

NUNES, Ihasmyn dos Santos et al. Nanopartículas De Quitosana: Técnicas De Obtenção E Aplicações Na Indústria De Alimentos. In: Verruck, Silvani (Org.). **Avanços Em Ciência E Tecnologia De Alimentos** - Volume 4. 4. ed. Científica Digital, 2021. Cap. 45, p. 698. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/livro-avancos-em-ciencia-e-tecnologia-de-alimentos-volume-4>. Acesso em: 15 mar. 2023

NWANKWO, Chinyere O. et al. High volume Portland cement replacement: a review. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 260, p. 1-12, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120445>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820324508#b0005>. Acesso em: 20 dez. 2022.

OLIVEIRA NETO, Benjamin Batista de. Síntese do aluminato de samário (SmAlO₃) por reação do estado sólido e caracterização por difração de raios-x. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2019. **Nobelprize.org**. The Nobel Prize in Physics 1914. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1914/>. Acesso em: 20 mai. 2023

OLIVEIRA, Ana Paula. **Estudo de matrizes cimentícias ternárias contendo sílica ativa e nanossílica**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10917>. Acesso em: 16 mai. 2023.

OLIVEIRA, Deborah Caroline. **Avaliação da atividade pozolânica de turfa em cimento Portland**. 2017, UNIFAL. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Calda, 2017.

OLIVEIRA, Maria Zillene Franklin da Silva; FERNANDES, Tatiana Sainara Maia; CARVALHO, Tecia Vieira. Síntese e caracterização de beads de quitosana comerciais reticulados com glutaraldeído. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 26, n. 2, p. 1-11, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210002.1261>. Disponível em: scielo.br/j/rmat/a/PcRDRZhCPrnYgjRqbLqzvr/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

OLIVEIRA, T. C. F.; DEZEN, B. G. S.; POSSAN, E. Use of concrete fine fraction waste as a replacement of Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, paper 123126, 9p., 2020.

ORTIZ, Ibeth Rivera et al. Utilización del quitosano como recubrimiento orgánico para prevenir/inhibir la corrosión del concreto reforzado. Revista Alconpat, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 38-60, 1 maio 2021. **Alconpat Internacional**. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v11i2.519>. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/4276/427666627004/427666627004_5.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

ORTIZ, Ibeth Rivera et al. Utilización del quitosano como recubrimiento orgánico para prevenir/inhibir la corrosión del concreto reforzado. Revista Alconpat, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 38-60, 1 maio 2021. **Alconpat Internacional**. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v11i2.519>. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/4276/427666627004/427666627004_5.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

OVEISI, Emad (org.). Scanning Electron Microscopy Techniques. 2020. **Materials Science of Concrete**. Disponível em: https://www.epfl.ch/research/facilities/cime/wp-content/uploads/2019/11/SEM_Fall2019.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

PACHECO, Antonia Alana Lima et al. Efeito da adição de nanoquartzo na resistência e microestrutura de pastas de cimento. In: **Congresso Brasileiro Do Concreto**, 61. Fortaleza: Ibracon, 2019. p. 1-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346038789_Efeito_da_adicao_de_nanoquartzo_na_resistencia_e_microestrutura_de_pastas_de_cimento. Acesso em: 10 mai. 2023.

PACHECO-TORGAL, F. et al. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review. **Construction And Building Materials**, Portugal, v. 25, n. 2, p. 575-581, fev. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810004095?via%3Dihub>.

PADILHA, Natan de Azevedo et al. Investigação preliminar das propriedades químicas dos resíduos do cupuaçú (*Theobroma grandiflorum*) através da técnica de espectroscopia de fluorescência de raio-X por energia dispersiva. **Scientia Naturalis**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 114-123, mar. 2021. Even3. <http://dx.doi.org/10.29327/269504.3.1-11>. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/269504.3.1-11>. Acesso em: 01 mar. 2023.

PAIVA, Maria das Dores Macedo. **Otimização e análise mecânica de pastas geopoliméricas para uso em poços sujeitos à injeção cíclica de vapor**. 2008. 173 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do

Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12729>

PAIXAO, Rafael Christian Fonseca da. **Comparação de técnicas de aprendizado de máquina para prever a resistência à compressão do concreto**. 2023. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

Pakdel, P. M., Peighambardoust, S. J. (2018), "Review on recent progress in chitosan-based hydrogels for wastewater treatment application", **Carbohydrate Polymers**. 201:264-279. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.070>

PAL, Preeti et al. Applications of chitosan in environmental remediation: a review. **Chemosphere**, [S.L.], v. 266, p. 128934, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128934>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520331313>. Acesso em: 05 abr. 2023.

PAN et al. High temperature performance of mortars containing fine glass powders. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 16–26, 2017.

PANESAR, D.K., ZHANG, R. "Performance comparison of cement replacing materials in concrete: Limestone fillers and supplementary cementing materials – A review," **Construction and Building Materials**, v. 251, 2020.

PANG, L.; LIU, Z.; WANG, D.; AN, M. **Review on the Application of Supplementary Cementitious Materials in Self-Compacting Concrete**. Crystals, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 180, 26 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/cryst12020180>.

PARK, S.; JEONG, Y.; MOON, J.; LEE, N. Hydration characteristics of calcium sulfoaluminate (CSA) cement/Portland cement blended pastes. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 34, p. 101880, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101880>.

PARREIRA, Leonardo Pereira. **Estudo da influência dos polímeros no tempo de pega de pastas de cimento**. 2023. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37109>

PARVEEN S.; RANA S.; FANGUEIRO R.; PAIVA M. C. Microstructure and mechanical properties of carbon nanotube reinforced cementitious composites developed using a novel dispersion technique. **Cement and Concrete Research**. V. 73, p. 215–27, 2015.

PATI, Siddhartha et al. Structural Characterization and Antioxidant Potential of Chitosan by γ -Irradiation from the Carapace of Horseshoe Crab. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2361, 15 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12102361>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/10/2361#B12-polymers-12-02361>. Acesso em: 10 abr. 2023.

PAULA, Daiane Dulcileia Moraes. Síntese de fase sólida magnética a base de polímeros molecularmente impressos e análise enantiosseletiva de tramadol em plasma humano por eletroforese capilar com detecção no ultravioleta. 91 p. Dissertação (Mestrado - PPMQ). 2022. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/paginas/ppgmq/dissertacoes_e_teses_defendidas.php. Acesso em: 01 fev. 2023.

PAULA, Rafaela Teixeira; ROCHA, Geraldo César. Caracterização Física e Mineralógica de Materiais Intempéricos na Área Urbana de Juiz de Fora – MG, através de Análise Macroscópica, Difratrômetro de Raios-X (DRX) e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 1787-1804, jul. 2021. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245384>>. Acesso em: 12 abr. 2023. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1787-1804>.

PAULETTO, Amanda Ramos; BREHM, Feliciane Andrade; GOMES, Lucas Bonan. ANÁLISE DO USO DA TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X EM ESTUDOS SOBRE MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES: UMA REVISÃO DE LITERATURA. In: 11° **Fórum Internacional De Resíduos Sólidos**, 11., 2020, Rio Grande do Sul. Anais [...]. Rio Grande do Sul: Firs, 2021. v. 11, p. 1-11. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/138>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEERS, S.; MONTEBAULT, A.; LADAVIÈRE, C. Chitosan hydrogels for sustained drug delivery. **Journal of Controlled Release**, Elsevier v. 326, p. 150-163, 10 out. 2020.

Pena, I. C., Ferreira, L. da C., Da Costa, W. F., dos Santos, P. P. C., dos Santos, W. M., Freitas, S. H. F., Lamarão, R. R., dos Santos, G. S., de Souza, R. G. T., & Batista, S. O. de S. Production and analysis of chitosan from regional shrimp shell residues (*Macrobrachium Amazonicum*) from the city of Macapá-AP, 2022, Brazil. Brazilian. **Journal of Development**, 8(4), 22749–22762. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-002>

PEREIRA, Claudia Allana. Obtenção e caracterização de nanopartículas de quitosana associada a magnetita (CS₂Fe₃O₄) com potencial aplicação para adsorção de tetraciclina. 2023 50f.: il.TCC (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Farmácia. Natal, RN, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/53188>. Acesso em: 16 jun. 2023.

PEREIRA, Rafael Bernardo. **Avaliação do desempenho de compósitos cimentícios com aditivo biocida**. 2021. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/11497/TCC%20Rafael%20Bernardo%20Pereira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 fev. 2023.

Perkins WD. **Fourier Transform-Infrared Spectroscopy**. Part I Instrumentation. *J Chem Educ.* 1986;63(1):5-10.

PETENI, S. et al. Effects of charge on the photophysicochemical properties of zinc phthalocyanine derivatives doped onto silica nanoparticles. **Polyhedron**, v. 138, p. 37–45, 2017.

PETROVICI, Anca Roxana et al. **Dextran-Chitosan Composites: antioxidant and anti-inflammatory properties**. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 1980, 22 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15091980>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/9/1980>. Acesso em: 25 abr. 2023.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998

PETRUCCI, E.G.R.: **Concreto de cimento Portland**. 14^o. ed. São Paulo: Globo, 2005. 307 p.

PINHEIRO, D. G. L. **Avaliação da atividade pozolânica de cinzas de casca de arroz (CCA) com diferentes teores de sílica amorfa**. Dissertação de mestrado em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

Pinto, H. P. F. **Procedimentos para análises em EDXRF aplicação para análise de metais pesados em solos**. São Paulo, 2019. 168 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-15042019-114250/publico/HerbertPrinceFaveroPintoCorr19.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2022.

PIPOLO, Lisieux Feitosa Gondim et al. Uso de biopolímeros em pastas de cimento: revisão sistemática da literatura. **Revista Principia** - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, [S.L.], v. 60, n. 1, p. 120, 30 mar. 2023. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia da Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6094>. Disponível em: <https://novo.periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6094>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PIPOLO, Lisieux Feitosa Gondim. **Estudo da pasta de cimento com substituição parcial e total da água de hidratação por manipueira**. 2021.

104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/45247/1/Estudopastacimento_Pi_polo_2021.pdf. Acesso em: 12 jan. 2023.

PLATH, André Mathias Souza. **Poly(ϵ -caprolactone)/zein based scaffolds produced via electrospinning**. 2020. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4756> Acesso em: 04 dez. 2022.

PLAZA, Marta G. et al. CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: state of the art and expectations. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 5692, 30 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13215692>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5692>. Acesso em: 25 mar. 2023.

POLESELLO, Eduardo; DREHER, Anderson Luis. COMPORTAMENTO DE ADITIVOS PLASTIFICANTES DE DIFERENTES FORNECEDORES NA PRODUÇÃO DE CONCRETO. **Revista Internacional de Ciências**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 360-378, 4 jan. 2022. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2021.56852>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/56852/40463>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PYLYPCHUK IEV, KOŁODYŃSKA D, KOZIOŁ M, GORBYK PP. GD-DTPA Adsorption on Chitosan/Magnetite Nanocomposites. **Nanoscale Res Lett**. 2016 Dec;11(1):168.

QIAN, Xin et al. Enhancing the performance of metakaolin blended cement mortar through in-situ production of nano to sub-micro calcium carbonate particles. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 196, p. 681-691, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.134>.

QUEIROZ, A.; KUROSAWA, R.; BARRETO, R. **Difração de Raios-X. Laboratório Avançado de Física Computacional**; Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDAPostilas/ApRaios-X/Manual_RX_v2.pdf Acesso em: 07 maio. 2022.

QUEIROZ, S. C. N.; JARDIM, I. C. S. F. **Eletroforese Capilar**, Chemkeys, n.8, 2001.

RAKHIMOV, Ravil Z. et al. Properties of Portland Cement Pastes Enriched with Addition of Calcined Marl. **Journal of Building Engineering**. v. 11, n. 3, p. 30-36, 2017.

RAM, V. Vinayaka; SINGHAL, Rhythm; PARAMESHWARAN, R.. Energy efficient pumpable cement concrete with nanomaterials embedded PCM for passive cooling application in buildings. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 28, p.

1054-1063, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.356>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531934386X>. Acesso em: 10 fev. 2023.

RAMALHO, Ramón Victor Alves. **Formulação de pasta de cimento flexível utilizando planejamento experimental**. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21178>. Acesso em: 10 jun. 2022.

RASWEEFALI, M.K. et al. Consequences of chemical deacetylation on physicochemical, structural and functional characteristics of chitosan extracted from deep-sea mud shrimp. **Carbohydrate Polymer Technologies And Applications**, [S.L.], v. 2, p. 100032, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100032>.

Ravi Kumar, M. N. . A review of chitin and chitosan applications. **Reactive and Functional Polymers** 2000, volume 46, Issue 2000,Pages 1-27,ISSN 1381-5148. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9).

Régis, M. de A., Rosendo, R. A., Medeiros, L. A. D. M. de ., Fook, M. V. L., Barbosa, R. C., Figueiredo, A. B. M., Moraes, W. G. A. de ., Siqueira, R. R. de ., & Brasil, A. W. de L.. (2020). Desenvolvimento e caracterização de esferas de quitosana/ *Dysphania ambrosioides* (L.) **Mosyakin & Clemants. Matéria** (Rio De Janeiro), 25(Matéria (Rio J.), 2020 25(4)), e-12841. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1141>

REGO, Oséias Costa. **USO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA COMO REAGENTE NA FLOTAÇÃO DE CALCOPIRITA EM TUBO DE HALLIMOND**. 2022. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Modalidade Acadêmica., Programa de Pósgraduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre -Rs, 2022.

REICHERT, C. A. .; POLESELLO, E. . Influência do preparo das bases dos corpos de prova no ensaio para determinação da resistência à compressão do concreto . **Concilium**, [S. l.], v. 22, n. 7, p. 403–417, 2022. DOI: 10.53660/CLM-696-747. Disponível em: <https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/696>. Acesso em: 11 abr. 2023.

REIS, Maria Vittoria Moraschini. **Projeção do ferramental para soldagem por fricção de pino rotativo e análise microestrutural do cordão de solda da liga aa1050**. 2021. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2021. Disponível em: <http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/17376>

RIBEIRO, André Valmir Saugo. **Alternativa para diminuição do consumo de cimento Portland em concretos: utilização de nanotubos de carbono**. 2023.

146 f. Tese (Doutorado-Ppgec). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/247635/PECV1303-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jun. 2023.

RIBEIRO, Daniel Véras (org.). **Princípios da ciência dos materiais cimentícios: produção, reações, aplicações e avanços tecnológicos**. Curitiba/Pr: Editora e Livraria Appris Ltda., 2021. 1111 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/read/509331726/Principios-da-Ciencia-dos-Materiais-Cimenticios-Producao-Reacoes-Applicacoes-e-Avancos-Tecnologicos#>. Acesso em: 10 abr. 2023.

RIBEIRO, Jayme de Melo. **Análise microestrutural de pastas de cimento ternárias com nanossílica e metacaulim nas idades iniciais**. 2022. xvii, 97 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/45423>. Acesso em: 26 jan. 2023.

RODRIGUES, Lais Oliveira et al. Produção de biofilme de quitosana, reduzida da quitina, extraída de exoesqueleto de crustáceos: proposta e disponibilização sustentável. **Brazilian Applied Science Review**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 218-239, 2020. *Brazilian Applied Science Review*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n1-015>. Acesso em: 10 abr. 2023

ROLIM, A. E. H. *et al.* Arcabouços de Quitosana - Propriedades Físico-Químicas e Biológicas para o Reparo Ósseo. **Revista Virtual de Química**. v. 10, n 2, p. 1-18, abr. 2018. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/RolimNoPrelo.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ROMANO, R. C. O. et al. Influência da técnica de dispersão nas propriedades de sílica ativa. **Cerâmica**, [S.L.], v. 54, n. 332, p. 456-461, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132008000400011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/jQyj9vB98FLSPmf3W8bthcn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 maio 2023.

ROSA, Diego Leonardo. INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO: projeto de obra de arte corrente. Projeto de Obra de Arte Corrente. 2020. **Consultores de Engenharia Ltda**. Disponível em: <meridian:\inf-infraestrutura\documentos\eps-especificação técnica de serviço>.

ROSA, Luma Thais da. **Obtenção de hidrogel a partir do polímero natural quitosana para uso na remoção de metais em águas**. 2021. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Química, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado/Rs, 2021. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/e86fcdcf-6006-4c2b-b970-118e9eee5916/content>. Acesso em: 09 mar. 2023.

SÁ, Christiane Siqueira de Azevedo. Obtenção de sistemas nanométricos do tipo O/A de óleos *Cymbopogon Winterianus* Jowitt e *Azadirachta Indica* A. Juss para aplicações em materiais têxteis na área da saúde. 2020. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/44634>. Acesso em: 15 jun 2023.

SABIR, B.B.; WILD, S.; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. **Cement and concrete Composites**, v. 23, p. 441-454, 2001.

SALOMONS, Oliver Rainer. **Proposta de um framework para implementação de iniciativas ESG na cadeia da construção civil**. 2023. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248190/TCC%20-%20Oliver_Rainer_Salomons.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 30 jun. 2023

SALUM, Paula de Lima. **Efeito da elevação de temperatura sobre a resistência à compressão de concretos massa com diferentes teores de cinza volante**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANJUÁN, M.Á., ARGIZ, C., GÁLVEZ, J.C., et al. "Effect of silica fume fineness on the improvement of Portland cement strength performance," **Construction and Building Materials**, vol. 96, pp. 55–64, 2015.

SANTANA, Dalmo Gabriel da Silva. Análise da viabilidade do uso de compósito de quitosana e do nitrito de sódio como inibidores de corrosão e suas influências na tecnologia do concreto. Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins-Campus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2020.

SANTOS, Angela Maria de Menezes. **Avaliação da influência da adição de quitosana nas propriedades mecânicas de um compósito cimentício**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34485>. Acesso em: 20 maio 2022.

SANTOS, Danilo Oliveira. Durabilidade de pastas de cimento contendo a rede polimérica Epoxy-Etilenodiamina – avaliações em ambientes aquosos quimicamente agressivos. São Cristóvão, 2017. 208 f. : il. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, 2017. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7225/2/DANILO_OLIVEIRA_SANTOS.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

SANTOS, Hericles Campos dos. Influência de nanopartículas de carbonato de cálcio na formação de etringita tardia em pastas de cimento submetidas à cura

térmica. 2020. 80 f. Dissertação (mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de Sergipe, 2020.

SANTOS, Josiane Alexandrino dos. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos piezoelétricos de pzt com matriz cimentícia e borracha natural**. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências dos Materiais. 2018. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153992/santos_ja_me_ilha_int.pdf?sequence=5. Acesso em: 10 jun. 2023.

SANTOS, Victor Hugo Jacks Mendes dos et al. Application of Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) coupled with multivariate regression for calcium carbonate (CaCO₃) quantification in cement. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 313, p. 125413, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125413>.

SANTOS, E. S. *et.al*. Espectrometria de fluorescência de raios-x na determinação de espécies químicas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9,n.17; p.3413,2013.

SASANIPOUR, H., ASLANI, F., TAHERINEZHAD, J. "Effect of silica fume on durability of selfcompacting concrete made with waste recycled concrete aggregates," **Construction and Building Materials**, v. 227, pp. 1-12, 2019.

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

SEBRAE. **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Construção Sustentável: da teoria à prática**. 2022. Inovação|Sustentabilidade. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/construcao-sustentavel-da-teoria-a-pratica,d46a1512f1696410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

SEGUNDO FILHO, Claro Alvino. **Influência da granulometria nas propriedades do concreto**. 2020. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Cajazeiras, Cajazeiras, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1428/1/TCC%20-%20Claro%20Alvino%20Segundo%20Filho.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2023.

Shafabakhsh, R.Yousefi, B.Asemi, Z.Nikfar, B.Mansournia, M.A.& Hallajzadeh, J.(2020). Chitosan: A compound for drug delivery system in gastric cancer- a review. **Carbohydrate Polymers**, 242, 10.1016/j.carbpol.2020.116403

SHANMUGAVEL, Durgadevagi et al. Interaction of a viscous biopolymer from cactus extract with cement paste to produce sustainable concrete. **Construction**

And Building Materials, [S.L.], v. 257, p. 119585, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119585>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820315907?via%3Dihub>. Acesso em: 19 maio 2023.

SHAVANDI, Amin et al. Preparation and characterisation of irradiated crab chitosan and New Zealand Arrow squid pen chitosan. **Materials Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 167, p. 295-302, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.10.047>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283849595_Preparation_and_characterisation_of_irradiated_crab_chitosan_and_New_Zealand_Arrow_squid_pen_chitosan. Acesso em: 05 maio 2023.

SIDDIQUE, R. Effect of volcanic ash on the properties of cement paste and mortar. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 56, n. 1, p. 66–70, 2011.

SILVA, Ákylla F. S. *et al.* Fungal production of chitin and chitosan using agro-industrial residues as sustainable sources of carbon and nitrogen. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 3562–3573, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n1-234. Acesso em: 21 mar. 2023

SILVA, Eduardo Melo de Andrade. **Economia circular na engenharia civil: a influência de rejeitos de louça sanitária na fabricação de concretos**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2021.

SILVA, G. et al. Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 23, p. e00132, 2020.

SILVA, G. V. da; BORGES, S. P. T.; BARAÑANO, A. G. Physical, chemical and mechanical properties of cements type CPI and CPV obtained with different proportions of clinker with lime filler. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 13, p. e309101321272, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21272. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21272>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SILVA, Gabriel Muylaert Camargo da. **Desenvolvimento de compósitos binários de polietileno de alta densidade carregados com alumina e com fibra de vidro**. 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado em Materiais não-metálicos; Física e mecânica dos materiais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2019.

SILVA, Hudson Tiago Lima da e FERNANDES, Maria José Costa. Reflexões geográficas sobre a produção de cimento em Baraúna (RN): uma abordagem acerca dos seus fluxos comerciais. **Revista Pensar Geografia**, v. 1, n. 1, p. 29-49, 2017.

SILVA, Lidiane Gonçalves da. **Detecção do vírus HIV em plasma sanguíneo de gestantes por espectroscopia ATR-FTIR e análise multivariada**. Natal: UFRN, 2020. 42f.: il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra - CCET, Instituto de Química. Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ). https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/41558/1/DeteccaovirusHIV_Silva_2021.pdf. Acesso em: 23 nov. 2022

SILVA, Lorena Araújo. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO, março de 2019. **Adição de resíduo de polimento de pisos de concreto em matrizes cimentícias**. Orientador: Bacus de Oliveira Nahime. Coorientador: Michell Macedo Alves. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_14/2021-08-19-02-34-37Disserta%C3%A7%C3%A3o_Lorena%20Ara%C3%BAjo%20Silva.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

SILVA, Milena Costa et al. Avaliação do método de obtenção de scaffolds quitosana/curcumina sobre a estrutura, morfologia e propriedades térmicas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 560-568, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160003.0054>. Acesso em: 04 dez. 2022.

SILVA, Rafaela Alcindo. **Avaliação das propriedades físico-químicas e osteogênicas do cimento Portland associado ao pentóxido de nióbio**. 2022. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/49863/1/Avaliacaopropriedadesfisicoquimicas_Silva_2022.pdf. Acesso em: 04 dez. 2022.

SILVA, Tayná Fracção da; FERREIRA, Gisleiva C. dos Santos; Pereira, Vanessa Ferreira Roche. Patologias Em Materiais Não Convencionais: Expansibilidade Da Escória De Forno Panela. In: **Congresso Brasileiro de Patologia das Construções**, 2., 2020, Fortaleza. Anais [...] . Fortaleza: Cbpat, 2020. p. 1-11. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/4gkQcmdPhnwVT94xbR8drMH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 maio 2023.

SILVA, Thiago Gadelha Da Silva. Dosagem e controle tecnológico do concreto com adição de Fibras para pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza: um estudo de caso. 2022. 61 f.: il color. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1377/1/Thiago%20Gadelha%20da%20Silva.pdf>

SILVA, V. et al. Comparative insight upon chitosan solution and chitosan nanoparticles application on the phenolic content , antioxidant and antimicrobial activities of individual grape components of Sousão variety. **Antioxidants**, v. 9, n. 2, p. 178, 2020.

Silveira, Fabíola Fernandes da. **Extração e caracterização de quitosana do exoesqueleto da lagosta – *Palinurus elephans***. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/26439>

SIMONETO, G. W. **Evaluación de la variación de la finura y composición del cemento Portland brasileño en las últimas décadas**: Estudio Exploratorio. 2020. 95 p. TCC- (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <http://dspace.unila.edu.br/123456789/6004>. Acesso em: 06 dez. 2022.

Sindicato Nacional Da Indústria Da Construção. **Consumo Aparente De Cimento Por Regiões E Estados**. 2022. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1675257705.pdf>. Acesso em: 16 de nov. de 2022

Sindicato Nacional Da Indústria De Cimento – Snic. **Relatório Anual. 2019**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acesso em 18 nov. 2021.

Sindicato Nacional Da Indústria Da Construção. **Relatório Anual. 2020**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2020.pdf. Acesso em: 16 de nov. de 2022

Sindicato Nacional Da Indústria Da Construção. **Relatório Anual. 2021**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2021.pdf. Acesso em: 16 de nov. de 2022

Sindicato Nacional Das Indústrias De Cimento (SNIC). Portland cement production. 2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 258-273, 2016. Números: dados do setor 2019. 2019. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SKINNER, Ben; LALIT, Radhika. With Concrete, Less Is More: demand changes can drive the future of zero-carbon concrete. Demand changes can drive the future of zero-carbon concrete. **RMI** 2023. Disponível em: <https://rmi.org/with-concrete-less-is-more/>. Acesso em: 04 maio 2023.

ŚLOSARCZYK, Agnieszka *et al.* Biopolymer-Based Hybrids as Effective Admixtures for Cement Composites. **Polymers**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1180, 21 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12051180>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/5/1180#B37-polymers-12-01180>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SOARES, S. M. **Durabilidade de compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com incorporação de pó de vidro frente à ação de cloretos**.

2021. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14126/A%20Tese%20Silvet e%2015%2004%202021%20%20Reposit%C3%B3rio%20SMS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 out. 2022.

SOBREIRA, T. G. P., *et al.* Aspectos Estruturais de Esferas de Quitosana/PVA Reticuladas com Glutaraldeído Submetidas a Diferentes Tratamentos Térmicos. 2020. **Química Nova**, 43(9), 1251–1257. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/AR2020-0211.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SOUSA, Alyson Freitas. **Caracterização por microscopia eletrônica de (nano)compósitos envolvendo dióxido de titânio e carvão hidrotérmico**. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Especialização em Ensino de Física, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/44024/1/2019_tcc_afsousa.pdf. Acesso em: 2 nov. 2022.

SOUSA, Hércules Gidel Lucena de. **Síntese de um composto inédito de quitosana para a remoção do cátion metálico Cu²⁺ e do oxianion CrO₄²⁻ em solução aquosa**. 2022. 109 f.: il.: color. Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/16213/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_S%c3%adnteseCompostoln%c3%a9dito.pdf. Acesso em: 05 abr. 2023.

SOUSA, Lucas Ribeiro de. Avaliação de pastas de cimento contendo resíduo de craqueamento catalítico (ECAT) em exposição à névoa salina e ao dióxido de carbono. 2021. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) -- Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/32983>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SOUSA, Matheus Ian Castro. **Microestrutura de pastas de cimento ternárias com metacaulim e nanossílica**. 2019. xviii, 105 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37272>

SOUSA, W. J. B. **Desenvolvimento de Filmes Híbridos de Quitosana/Fosfato de Cálcio com Incorporação de Vitamina E**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SOUZA, Daniel Ramos de et al. Estudo Microestrutural De Cinzas Como Alternativa Sustentável Na Adição Parcial Ao Cimento Portland : Potencial Da Casca Do Fruto Do Tingui. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [s.

I], v. 4, p. 1-16, abr. 2022. Tocantins. Disponível em: https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2022/935_estudo_microest_rutural_de_cinzas_como_alternativa_sustentavel_na_adica.pdf. Acesso em: 3 dez. 2022.

SOUZA, Juliana Santa Cruz. **Estudo de argamassas á base de cal e metacaulim para intervenções em revestimento das edificações históricas**. Recife, 2013. 226 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12850>. Acesso em: 3 dez. 2022.

SOUZA, V.C.G.; SAMPAIO, C.H.; TAVARES, L.M.M. Estudo da influência da microestrutura do clínquer sobre a moagem na fabricação de cimento: microscopia eletrônica de varredura. **Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 55, n. 3, p. 209-213, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v55n3/v55n3a08>>. Acesso em: 06 de jan de 2022.

SOUZA. Jonathan Diogo. Elaboração de material didático-instrucional de processos de fabricação de material compósito de matriz polimérica utilizado na indústria aeronáutica. Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia MG. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24342/1/ElaboracaoMaterialDidatico.pdf>

Spin-neto, R., Pavone, C., Freitas, R. B., Marcantonio, R. A. C., Marcantonio-Junior, E. Biomateriais a base de quitosana com a aplicação médica e odontológica: revisão da literatura. **Revista de Odontologia da UNESP**, 37(2), 155-161, 2008. Disponível em: <http://host-article-assets.s3.amazonaws.com/rou/588018447f8c9d0a098b4b49/fulltext.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023

STUTZMAN, P. Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure. **Cement & Concrete Composites**. v. 26, p. 957-966, 2004.

SUBHI, Hasan et al. Physicochemical, mechanical and cytotoxicity evaluation of chitosan-based accelerated Portland cement. **Journal Of Materials Research And Technology**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 11574-11586, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.108>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420316069>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SUNEETA, K., RATH, P., & SRI, H. K. A. (2016). Chitosan from shrimp shell (Crangon crangon) and fish scales (Labeorohita): Extraction and characterization. **African Journal of Biotechnology**, 15(24), 1258–1268. <https://doi.org/10.5897/ajb2015.15138>. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-full-text-pdf/98A77DC58876>. Acesso em: 05 jun. 2023.

TAMBARA JÚNIOR, Luís Urbano Durlo et al. Influence of polycarboxylate superplasticizer and calcium sulfoaluminate cement on the rheology, hydration kinetics, and porosity of Portland cement pastes. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 68, p. 106120, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106120>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223002991#bib58>. Acesso em: 27 jun. 2023.

TARARUSHKIN, E. V. *et al.* **A study of strength fluctuations of Portland cement by FTIR spectroscopy - IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.** 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/919/2/022017/meta>. Acesso em: 18 jul. 2022.

TAVAKOLI, Davoud., TARIGHAT. Amir. Molecular dynamics study on the mechanical properties of Portland cement clinker phases. **Computational Materials Science**. v.119. p.65-73. 2016.

TAVARES, Andrea Macleybiane Gois. **Síntese e caracterização de pastas de cimento aditivadas com resinas epóxi análises cinéticas, termodinâmicas e calorimétricas**. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - Se, 2010. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/3498>. Acesso em: 16 maio 2023.

TAVARIA, F. K.; JORGE, M.; MARCHETTI, G.; et al. Wound healing, anti-ulcerogenic, antiinflammatory and anti-proliferative properties of chitosan. **New Biotechnology**. 2009.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2.ed. London: Thomas Telford, 480p, 1997.

TEIXEIRA, A. C. C. L. **Dimensionamento de microestacas de acordo com os eurocódigos 7 e 3**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal, 2014.

THIYAGU, C.; MANJUBALA, I.; NARENDRAKUMAR, U. Thermal and morphological study of graphene based polyurethane composites. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 45, p. 3982-3985, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.641>.

TIAN, B. *et al.* Chemical and physical chitosan hydrogels as prospective carriers for drug delivery: A review. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 8, n. 44, p. 10050–10064, 28 nov. 2020.

TIAN, B.; LIU, Y. Chitosan-based biomaterials: from discovery to food application. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 31, n. 11, p. 2408–2421, 2020.

TONG, T.; FAN, Z.; LIU, Q.; WANG, S.; TAN, S.; YU, Q. Investigation of the effects of graphene and graphene oxide nanoplatelets on the micro and macro-properties of cementitious materials. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 106, p. 102- 114, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.092>.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA Gene. Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, óptica. 6º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 530p.
TONOLI, G. et al. Rationalizing the impact of aging on fiber-matrix interface and stability of cement-based composites submitted to carbonation at early ages. **Journal of Materials Science**, [s. l.], v. 51, n. 17, p. 7929–7943, 2016.

TORALLES, B.M., *et al.* “Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais”. **Revista de engenharia e tecnologia**. v.. 10, n. 1, pp. 184-198, 2018.

TORRES, Rafael Gonçalves et al. Estudo da corrosão e da microestrutura no compósito cimentício autoadensável com substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1-17, 24 jul. 2022. **Research, Society and Development**. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32568>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/32568/27598/366160>. Acesso em: 05 jan. 2023.

TRENTINI, Anelise. Desenvolvimento de membranas de poliuretano com carbonato de cálcio nanométrico e pó de ostras obtidas por inversão de fases visando a separação de gases. 2020. 68f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caixias do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/6804/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Anelise%20Trentini.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jun. 2023.

URATANI, Joao M.; GRIFFITHS, Steve. A forward looking perspective on the cement and concrete industry: implications of growth and development in the global south. **Energy Research & Social Science**, [S.L.], v. 97, p. 102972, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2023.102972>. Acesso em: 25 maio 2023.

USTINOVA, Y.V.; NIKIFOROVA, T.P. Cement compositions with the chitosan additive. **Procedia Engineering** 153, p.810-815, 2016.

VALADARES, Paulo André; SOUZA, Fabio Albino de. A importância da calda de cimento para injeção na protensão de pontes: Um estudo comparativo entre normativos nacionais e internacionais de controle de qualidade. **Collection: Applied Civil Engineering**, [s. l.], p. 64-78, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225016>. Acesso em: 6 out. 2022.

VALIN JUNIOR, Marcos de Oliveira; CHIQUITA, Aparecida Natalina. USO DE ADITIVO PLASTIFICANTE PARA CONCRETO APLICADO COM MAIS DE 150 MINUTOS. **Revista Proficientia, Cuiabá**, v. 1, n. 14, p. 1-26, 17 dez. 2020. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Mato Grosso. Disponível em: <https://proficientia.ifmt.edu.br/proficientia/index.php/proficientia/article/view/206/161>. Acesso em: 4 fev. 2023.

VÁSQUEZ, A. et al. Geopolymer based on concrete demolition waste. **Advanced Powder Technology**, v. 27, n. 4, p. 1173-1179, 2016. doi:10.1016/j.apt.2016.03.029.

VASUMITHRAN, Manisha; ANAND, K.B.; SATHYAN, Dhanya. Effects of fillers on the rheology of cement grouts. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 46, p. 5153-5159, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.686>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320383097>. Acesso em: 25 out. 2022.

VEIGA, Betina Carvalho. **Análise Comparativa entre Propriedades Mecânicas de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras Naturais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/28097/PCC%20%20BETINA%20VEIGA%20VERS%20%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VELLA-ZARB, Liana. **Métodos físicos para caracterização de sólidos**. In: MOORE, Elaine A.; SMART, Lesley E.. Química do Estado Sólido: uma introdução. 5. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, Llc, 2020. p. 1-442. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780429027284>. Acesso em: 09 dez. 2022

VIEIRA, Diego Machado. **Patologias em estruturas de concreto armado**. 2021. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Norte do Paraná, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-norte-do-parana/trabalho-de-conclusao-de-curso-i/eng-civil-tcc-patologias-do-concreto/15038267>. Acesso em: 15 dez. 2022.

VIEIRA, E. R. *et al.* Rhizopus arrhizus ucp1295 as economic source for production of functional biopolymers chitin and chitosan using renewable substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 76444–76456, 2020.

VIEIRA, Maria Eduarda Martins et al. Espectroscopia de dispersão de energia de raios X (EDS) acoplada a microscópio eletrônico de varredura (SEM): fundamentos e aplicações em produtos lácteos. Investigação, **Sociedade e**

Desenvolvimento , [S. l.] , v. 10, n. 10, pág. e262101018622, 2021. Disponível em: [10.33448/rsd-v10i10.18622](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18622). Acesso em: 13 abr. 2023.

VIEIRA, Silvana Rodrigues. O ensino de espectroscopia aplicado à química a partir da elaboração do ebook “Heróis e vilões: os poderes das ondas eletromagnéticas”. 2022. 87 f.: il.; 28 cm. Dissertação (Mestrado) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, Mestrado Profissional em Química, 2022

VINTZILEOU, Elizabeth; MILTIADOU-FEZANS, Androniki. Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts. **Engineering Structures**, [S.L.], v. 30, n. 8, p. 2265-2276, ago. 2008. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.003>. Acesso em: 07 jan. 2023.

VITALI, L; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T.; GONÇALVES, N. S. Microencapsulação do agente quelante sulfoxina em microesferas de quitosana preparadas por spray drying como novo adsorvente para íons metálicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, pp. 1400-1404, 2008.

WALLEVIK, O. H.; WALLEVIK, J. E. Rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes. **Cement and Concrete Research**, v. 41, p. 1279-1288, 2011.

WANG, Chao et al. Effect of microstructure and chemical proximate composition on mechanical properties of *Procambarus clarkii* shell. **Lwt**, [S.L.], v. 165, p. 113731, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113731>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822006661?via%3Dihub#fig4>. Acesso em: 25 maio 2023.

WANG, Liguó et al. Effect of citric acid-modified chitosan on the hydration and microstructure of Portland cement paste. **Journal Of Sustainable Cement-Based Materials**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 83-96, 21 jan. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/21650373.2021.2016515>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21650373.2021.2016515>. Acesso em: 05 dez. 2022.

WANG, Liguó et al. Effect of citric-acid-modified chitosan (CAMC) on hydration kinetics of tricalcium silicate (C3S). **Journal Of Materials Research And Technology**, [S.L.], v. 21, p. 3604-3616, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.118>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785422016568#bib58>. Acesso em: 15 maio 2023.

WORRELL et al. Carbon Dioxide Emissions From the Global Cement Industry. **Annual Review Energy and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 303-29, 2001.

XAVIER, Letícia Ramalho et al. **Quitosana obtida de camarões: síntese e caracterização**. 2023. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia de Aquicultura, Ifes, Campus Alegre, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3220>. Acesso em: 16 maio 2023.

YADAV, M. et al. Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin/ chitosan materials. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 6, n. 1, 2019.

YADAV, S.; MEHROTRA, G. K.; DUTTA, P. K. Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging. **Food Chemistry**, v. 334, n. July 2020, p. 127605, 2021.

YAMELIT, Meza Elguera Naysha; DARYL, Ticona Borja Danitza. Evaluación del efecto antimicrobiano y antioxidante de una biopelícula elaborada con aceite de muña (*Minthostachys mollis*) y quitosano obtenido de exoesqueleto de camarón de río (*Cryphiops caementarius*). 2021. 100 f. TCC (Doutorado) - Curso de Ingeniero Biotecnólogo, Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11089>. Acesso em: 10 maio 2023.

YANAGUISAWA, Victor Akio. **Caracterização mineralógica de um Neossolo Flúvico por técnicas de espectroscopia, microscopia e difração de raios X**. Ponta Grossa, 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Área de Concentração: Física), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2949/1/Victor%20Akio%20Yanaguisawa.pdf> Acesso em: 23 maio 2023.

YANG, Yixu; LI, Xingong. Study on compatibility of poplar wood and Portland cement. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 314, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125586>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821033237>. Acesso em: 10 maio 2023.

Yazi Meng, Tung-Chai Ling, Kim Hung Mo, Weihao Tian, Enhancement of high temperature performance of cement blocks via CO₂ curing, **Science of The Total Environment**, Volume 671, (2019), 827-837,ISSN 0048-9697,<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.411>. Acesso em: 10 maio 2023.

YILDIRIM, I. Z.; PREZZI, M. Experimental evaluation of EAF ladle steel slag as a geo-fill material: mineralogical, physical e mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 23–33, 2017.

Younes, I.; Rinaudo, M. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. **Marine Drugs** 2015, 13, 1133. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25738328/>. Acesso em: 21 mar. 2023

YOUNG, G.; YANG, M. Preparation and characterization of Portland cement clinker from iron ore tailings. **Construction and Building Materials**, v. 197, p. 152- 156, 2019.

YUSUF, Moruf Olalekan. Bond Characterization in Cementitious Material Binders Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 3353-1, 6 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13053353>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/3353>. Acesso em: 01 abr. 2023.

ZANCHETTA, Liz de Mello. **Efeito do teor de filer calcário na microestrutura de materiais cimentício: uma análise multiescala**. 2021. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07072022-075221/pt-br.php>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ZANDONÁ, Tainara Gabrieli. **Difração de raios X – Uma revisão bibliográfica acerca das aplicações desta técnica na medicina**. 2021. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Física Médica/Materiais, Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33668/1/Difra%C3%A7%C3%A3oDeRaios.pdf>. Acesso em: 06 set. 2022.

ZARIBAF, B. H., KURTIS, K. E. Admixture compatibility in metakaolin–Portland - limestone cement blends. **Materials and Structures**, v. 51, n. 33, p. 1–13, 2018.

ZATTAR, Alessandra Pires Passos. **Obtenção, caracterização e funcionalização de pontos de carbono a partir de diferentes precursores e suas aplicações como sensores**. 2022. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/46874>. Acesso em: 16 maio 2023.

ZHAO, Sixue et al. Effect of chitosan on the carbonation behavior of γ -C2S. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 111, p. 103637, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103637>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946520301293#bib47>. Acesso em: 07 set. 2022

ZHANG, Peng; ZHENG, Yuanxun; WANG, Kejin; ZHANG, Jinping. A review on properties of fresh and hardened geopolymer mortar. **Composites Part B: Engineering**, v. 152, n. June, p. 79–95, 2018.

ZHANG, Yihao et al. Interactions between Soybean Trypsin Inhibitor and Chitosan in an Aqueous Solution. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1594, 23 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15071594>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/7/1594>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ZHANG, Zhenlei; DU, Jiang; SHI, Meilun. Quantitative Analysis of the Calcium Hydroxide Content of EVA-Modified Cement Paste Based on TG-DSC in a Dual **Atmosphere. Materials**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 2660, 4 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma15072660>.

ZHAO, L.; HU, Y.; XU, D.; CAI, K. Surface functionalization of titanium substrates with chitosan-lauric acid conjugate to enhance osteoblasts functions and inhibit bacteria adhesion. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 119, p. 115–125, 2014.

ZHELUDKEVICH, M. L., et al. Self-healing protective coatings with “green” chitosan based pre-layer reservoir of corrosion inhibitor. **J. Mater. Chem.**, No. 21, 4805-4812, Portugal, 2011.

ZHUTOVSKY, Semion; SHISHKIN, Andrei. Recycling of hydrated Portland cement paste into new clinker. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 280, p. 122510, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122510>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821002701>. Acesso em: 09 out. 2022.

APÊNDICE A – CIMENTO PORTLAND

Aglomerante hidráulico composto por silicatos e aluminatos, que, ao reagirem com a água, desenvolvem compostos hidratados, promovendo o endurecimento da massa e conseqüentemente, proporciona resistência mecânica. De maneira geral, o cimento pode ser classificado como todo material que possua propriedades adesivas e coesivas. Quando se unifica os fragmentos minerais forma-se um material todo compactado (NEVILLE, 1997; LAVAGNA; NISTICÒ, 2022).

Material da construção civil mais utilizado no mundo, o cimento Portland, recebeu esse denominação por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (VIEIRA, 2021). Criado e patenteado em 1824 por Joseph Aspdin, um pedreiro e construtor inglês, no sul da Inglaterra, o cimento Portland assim como foi chamado, era preparado pelo aquecimento de uma mistura de argila, finamente moída e, calcário em um forno a extinção do CO₂, que ocorria em temperatura bastante inferior à necessária para a clinquerização, formando então um composto resistente à água. Contudo, somente no ano de 1845, por meio dos esforços de Isaac Johnson, foi fabricado o primeiro protótipo do cimento moderno. Nessa abordagem, a associação de argila e giz foi submetida à queima até atingir a temperatura de clinquerização. Esse método, por meio de reações necessárias, possibilitou a formação de compostos de alta capacidade cimentante, resultando em um tipo de cimento semelhante ao que é fabricado atualmente (NEVILLE, 1996).

O cimento utilizado atualmente ainda é obtido a partir da extração e do beneficiamento do calcário e da argila, resultando na formação de uma "farinha", a qual é submetida a um processo de aquecimento para gerar o clínquer. Em seguida, o clínquer é submetido a um processo de resfriamento e é moído, juntamente com adições de calcário e pozolanas (TAVAKOLI e TARIGHTA 2016; MACHADO, 2021).

Em 1991, foi introduzido no mercado brasileiro um novo tipo de cimento, denominado cimento Portland composto. A composição desse aglomerante é intermediária entre os cimentos Portland comuns e os cimentos Portland com adições (alto-forno e pozolânico), sendo estes últimos já disponíveis há algumas décadas. Em razão disso, posteriormente, ocorreu à evolução do processo de fabricação de cimento, motivando mundialmente a busca por alternativas de composição para cimento. Dessa forma, diversos tipos de cimentos Portland foram desenvolvidos, incluído aqueles de alta resistência inicial, os resistentes aos sulfatos, entre outros (ABCP, 2002; SANTOS, 2019).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, por meio da NBR 16697, define o cimento Portland como um material de características aglomerante quando em contato com a água. Obtido a partir da moagem do clínquer, ainda no processo de fabricação, podem ser adicionados uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais, nas quantidades necessárias, além de uma possível inclusão também de materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonosos, isso em quantidades limitadas, resultando nos cimentos compostos (ABNT, 2018).

O cimento Portland é um produto complexo obtido a partir de materiais naturais comuns não processados, calcário e argila. Quando esses materiais são processados, originam o clínquer através de uma série de reações químicas. Os principais produtos formados, incluem os anídeos de silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) e ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF). Além disso, o cimento pode conter produtos secundários como cal livre (CaO), periclásio (MgO) e algumas fases metálicas, seus óxidos e sulfetos (DHIR *et al.*, 2018; LEÃO, 2019).

APÊNDICE B – TIPOS E COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

O principal e mais utilizado tipo de cimento que se destacar é o cimento Portland, um material pulverulento composto por silicatos e aluminatos de cálcio (PETRUCCI, 1998). Definido como um aglomerante hidráulico, o cimento Portland quando em contato com a água, acontece um processo de hidratação. Após o endurecimento não se degradam na presença de água (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PIPOLO, 2021).

Atualmente, existem vários tipos de cimentos, cuja são produzidos com adições específicas que tem por função modificar as propriedades do material de modo a melhorá-lo ou facilitar seu emprego (BAUER, 2016). Essas propriedades são influenciadas por vários constituintes que interfere de maneira efetiva na resposta que o material terá em serviço, pois essas adições são introduzidas à mistura com um determinado propósito (ZHUTOVSKY; SHISHKIN, 2021).

No Brasil, há vários tipos de cimento normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essa variação se dá pelas características de cada um em relação às porcentagens dos materiais em sua composição. Os tipos de cimentos diferenciam-se pela quantidade de clínquer, sulfato de cálcio e de adições como escórias, pozolana e fíler de calcário, acrescentados no processo de moagem (DA SILVA *et al.*, 2016; MOURA, 2017; LIMA, 2019).

Diante disso, temos a NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos, que normatiza a designação dos cimentos Portland por seu tipo, que correspondem a adições e propriedades especiais (ABNT, 2018). Na Tabela 14, apresenta os tipos e as composições dos cimentos normatizados no Brasil.

Tabela 14 - Tipos e composições dos cimentos Portland utilizados no Brasil.

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	SIGLA	CLASSE	CLINQUER + SULFATOS DE CÁLCIO	ESCORIA GRANULADA	MATERIAL POZOLÂNICO	MATERIAL CARBONÁTICO	INICIO DE PEGA	FIM DE PEGA
Comum	CP I	25, 32 ou 40	95-100			até 5%	≥60min	≤600min
	CP I-S		90-94			6-10	≥60min	≤600min

Composto	CP II-E (escória)		51-94	6-34	–	0-15	≥60min	≤600min
	CP II-Z (pozolana)		71-94	–	6-14	0-15	≥60min	≤600min
	CP II-F (fíler)		75-89	–	–	11-25	≥60min	≤600min
Alto-Forno	CP III		25-65	35-75	–	0-10	≥60min	≤720min
Pozolânico	CP IV		45-85	–	15-50	0-10	≥60min	≤720min
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	ARI	90-100	–	–	0-10	≥60min	≤600min
Branco	Estrutural	25, 32 ou 40	75-100	–	–	0-25	≥60min	≤600min
	Não estrutural	–	50-74	–	–	26-50	≥60min	≤600min

Fonte: Adaptada pela autora da ABNT NBR 16697 (2018)

Com base nessas considerações, é possível perceber que os tipos de cimento podem ser classificados com vários termos e definições cada, conforme apresentado na Tabela 14. As siglas correspondem ao prefixo CP, de cimento Portland, ao qual são acrescentados algarismos romanos de I a V, indicando o tipo do cimento, além de uma letra inicial com base na adição, caso haja, e os números em sua classe, que indica os valores mínimos de resistência à compressão garantida pelo fabricante, após 28 dias de cura.

Os principais componentes constituintes do cimento Portland brasileiro inclui o clínquer, o sulfato de cálcio (gesso), a escória de alto forno, as cinzas volantes e o material carbonático (fíler calcário). Esses componentes apresentam limitações mínimas e máximas estipuladas em conformidade ao tipo de cimento a ser fabricado (SIMONETO, 2020).

Na NBR 16697, são especificados os cimentos Portland referenciando a presença ou ausência de adições (Tabela 14). A mesma especifica que o CP comum, sem adição, possui uma fórmula mais simplificada, comparada com os outros, ele contém 95 a 100% de clínquer + sulfatos de cálcio, ou seja, nele o único aditivo presente é o gesso, que é o responsável por retarda a rigidez. Já o CP I-S, que é o com adição, constitui em 90 a 94% de clínquer + sulfatos de cálcio, acrescido de 6 a 10% de adições. Semelhante ao CP comum, a diferença

está na presença de material pozolânico, o que acaba proporcionando uma baixa permeabilidade ao produto (ABNT, 2018).

No caso dos cimentos Portland compostos, esses se subdividem em três classes: CP II-E, CP II- Z e CP II- F cuja apresentam adições de escória, pozolana e fíler. O CP II-E é composto de 6 a 34% de escória granulada de alto-forno, 0 a 15% de material carbonático e de 51 a 94% de clínquer + sulfatos de cálcio. A presença da escória na composição garante menor calor durante a hidratação, resultando em uma liberação reduzida de calor quando em contato com água (FASCIO, 2021). O CP II-Z, ainda com base na NBR 16697, apresenta melhor impermeabilidade, tem adição de 6 a 14% de material pozolânico, 71 a 94% de clínquer + sulfatos de cálcio e 0 a 15% de material carbonático. Em contrapartida, o CP II-F, que é um dos mais eficientes para aplicação em obras simples que exigem resistência como concreto, sendo ele composto de 75 a 89% de clínquer + sulfatos de cálcio e 11 a 25% de material carbonático (ABNT, 2018).

Além desses tipos, existe o CP III, cimento Portland de alto-forno. Esse tipo de cimento é composto por 25 a 65% de clínquer + sulfatos de cálcio, 35 a 75% de escória granulada de alto-forno e 0 a 10% de material carbonático. Em sua composição tem como principal característica o baixo calor de hidratação, alta durabilidade e impermeabilidade (CUNHA, 2022).

Outro tipo é o Cimento Portland Pozolânico (CP IV), composto por 45 a 85% de clínquer + sulfatos de cálcio, possui um dos maiores índices de pozolana de 15 a 50%, e 0 a 10% de material carbonático. Esse alto índice de pozolana neste tipo de cimento, faz com que ele tenha uma alta impermeabilidade e durabilidade amplificada, gerando uma ótima resistência a ambientes ácidos e em contato com sulfato (FASCIO, 2021). E então, o CP V-ARI, que é um tipo de cimento semelhante ao cimento comum, devido não ter aditivos em sua fórmula. Com composição de 90 a 100% de clínquer + sulfatos de cálcio e 0 a 10% de material carbonático, destaca-se por atingir altas resistências nos primeiros dias de aplicação, sendo por isso designado como cimento Portland de alta

resistência inicial. Por fim, o CP branco, sendo ele o estrutural com 75 a 100% de clínquer + sulfatos de cálcio e 0 a 25% de material carbonático e o não estrutural, com 50 a 74% de clínquer + sulfatos de cálcio e 26 a 50% de material carbonático (ABTN NBR 16697, 2018).

Diante disso, observa-se na Tabela 14, que os dois componentes mais predominante no cimento são o clínquer e o sulfatos de cálcio. No entanto, é crucial destacar que o principal responsável pelo controle do tempo de pega do cimento é o sulfato de cálcio (gipsita). Em outras palavras, a presença desse componente no cimento Portland que determina o tempo de endurecimento do clínquer após a sua mistura com água (NAQI; JANG, 2019). O sulfato de cálcio (CS) é adicionado no cimento com o objetivo de retarda o início da pega, que, na sua ausência, tenderia a ocorrer de forma instantânea após a mistura do cimento com a água (GOMES, 2021).

As matérias-primas do clínquer são o calcário e a argila, provenientes de jazidas (ABCP, 2002; MEDEIROS *et al.*, 2021; NI *et al.*, 2021; AGOSTINHO *et al.*, 2021). A rocha calcária é uma fonte natural de carbonato de cálcio (CaCO_3) enquanto as argilas são fontes preferenciais de sílica (SiO_2), além de minerais argilosos que contêm alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) (NEVILLE, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

No que diz respeito ao calcário, é importante ressaltar que a cal é um dos componentes fundamentais para a formação do cimento. O clínquer, segue como composto principal, isso porque é formado pelo carbonato de cálcio (CaCO_3), representando entre 80% a 85% na fabricação do cimento. Em sua composição, inclui o clínquer, cuja é sua matéria prima principal, que é denominado como um material proveniente da mistura da rocha calcária britada moída, argila e corretivos químicos como filito, quartzito e minério de ferro (CHENG *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; ZHUTOVSKY; SHISHKIN, 2021, PARK *et al.*, 2021).

Além disto, para cada tipo de cimento Portland, existem diferentes compostos de óxidos, cujas quantidades podem variar de acordo com a espécie

do cimento (BEZERRA, 2017). Esses óxidos são encontrados no clínquer de cimento Portland, onde, por meio da mistura do calcário, argila, minério de ferro e gipsita, origina os quatros principais compostos: óxido de cálcio (CaO), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de silício (SiO₂), alumina (Al₂O₃). Normalmente esses quatros óxidos são considerados como os principais constituintes do clínquer do cimento, na forma de silicato tricálcico (C₃S), silicato dicálcico (C₂S), aluminato tricálcico (C₃A) e ferroaluminato tetracálcico (C₄AF) (TAVAKOLI; TARIGHTA, 2016; DHIR *et al.*, 2018; LEÃO, 2019).

Por conseguinte, segue Quadro 2, com as principais características constituintes do cimento Portland e suas abreviaturas.

Quadro 2 - Principais constituintes do cimento Portland

NOME DO COMPOSTO	COMPOSIÇÃO EM ÓXIDOS	ABREVIÇÃO	
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	É o principal constituinte do cimento, é o que responde, após sua hidratação, pela sua resistência mecânica inicial (1 a 28 dias). Sua hidratação começa em poucas horas e seu calor de hidratação é inferior ao C ₃ A.
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	Sua hidratação contribui pouco para a resistência inicial, mas contribui significativamente com o aumento da resistência ao longo do tempo, pois reage lentamente com a água e libera baixa quantidade de calor.
Aluminato tricálcico	2CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₃ A	Reage rapidamente com a água e cristaliza-se em poucos minutos. É o constituinte do cimento que apresenta o maior calor de hidratação, pois reage rapidamente com a água e cristaliza-se em poucos minutos sendo responsável pelo controle da pega inicial e o tempo de endurecimento da pasta, também é o responsável pela baixa resistência aos sulfatos.

Ferroaluminato tetracálcico	$4Ca.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	Responsável pela coloração cinzenta ao cimento, devido à presença de ferro, libera baixo calor de hidratação e reage menos rapidamente que o C3A e controla a resistência a corrosão química do cimento em ambientes agressivos.
-----------------------------	-----------------------	---------	--

Fonte: Metha e Monteiro (2014)

Todos esses constituintes são acompanhados de seus compostos fundamentais, os quais determinam suas propriedades. A proporção dos componentes que formam o cimento é responsável pelas principais características do material que surgem durante a hidratação dos grãos. (MODLER, 2017). Entre essas características, podemos destacam-se a liberação de calor, o aumento da resistência com o tempo, a retração, entre outras. À vista disso, observa-se também no Quadro 2, que para cada um desses compostos, existe a fase pura deles, que seguem representados na coluna de abreviação por C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF , cuja são fases chamadas de alita, belita, aluminato de cálcio e browmillerita. Essas fases no clínquer, podem conter impurezas e elementos secundários, dependendo da origem da matéria-prima, como Fe, Mg, Na, K, S e Al. (GUILGE, 2011; LEÃO, 2019).

De modo geral, na massa do cimento, a alita corresponde 40% a 70%, a belita por um montante de 10% a 20%, e os aluminatos presentes ocupam de 15% a 20% da massa do material. Essa fase é chamada de intersticial, ela preenche os espaços deixados pelos cristais de alita e belita e que se funde durante o processo de clínquerização. Com isso, a demais massa que resultante é ocupada por outros óxidos presentes, como o óxido de cálcio e o óxido de magnésio (BATTAGIN, 2011; NAQI; JANG, 2019).

Além dessas fases denominadas alita, belita, celita e ferrita, que equivale às formas impuras do C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF , respectivamente, há várias outras, como sulfatos alcalinos e óxido de cálcio, que normalmente estão presentes em quantidades menores. A alita, ou silicato tricálcico (C_3S), é o principal componente do cimento Portland, pois é nessa fase constituinte que ocorre o desenvolvimento de resistência, onde reage rapidamente com água, em idades

de até 28 dias. Já o silicato dicálcico (C_2S), a belita, reage de maneira mais branda com água, possuindo taxas de hidratação menores, o que acaba contribuindo pouco para com o aumento da resistência nos primeiros 28 dias, mas em compensação, contribui substancialmente para o acréscimo adicional de resistência que ocorre em idades mais avançadas. No entanto, a resistência de ambas, alita e belita, após um ano, termina em condições comparáveis (TAYLOR, 1997; NWANKWO *et al.*, 2020).

Com relação à Celita, que neste caso é o aluminato tricálcico (C_3A), nas primeiras idades, ele apresenta uma boa contribuição para resistência devido ser um material mais reativo, porém, após isso, essa contribuição é praticamente nula. É uma fase que reage rapidamente com a água, podendo desencadear reações indesejáveis, a menos que seja adicionado um agente de controle de pega, como o gesso (TAYLOR, 1997; NEVILLE; BROOKS, 2013; SANTOS 2019; HOU *et al.*, 2020).

No que diz respeito à fase ferrita, correspondente ao ferroaluminato tetracálcio (C_4AF), sua grande contribuição reside na resistência química dos produtos cimentícios, especialmente na resistência ao ataque de sulfatos. Essa fase não é um composto definido, mas uma solução sólida, podendo ter sua composição variando de C_2F e C_8A_3F . Além disso, sua resistência mecânica em si não contribui significativamente em comparação com os demais compostos (TAYLOR, 1997; NEVILLE; BROOKS, 2013; HEWLETT; LISKA, 2019).

Além dos métodos de análise química, a composição real do clínquer pode ser determinada por meio de exames microscópicos (METHA; MONTEIRO, 2016). A compreensão da composição química do cimento e a influência de cada elemento são cruciais, uma vez que nos permite entender melhor os processos relacionados ao mecanismo de desenvolvimento das propriedades. Neste contexto, dispomos de técnicas capazes de modificar a composição química com o objetivo de obter características desejáveis, além de algumas em microscópios, nos permitir contemplar suas formas de reprodução. Quando as anidras do cimento Portland são apresentadas em um microscópio, elas

possuem formas características, conforme mostra o quadro 3 (HEWLETT; LISKA, 2019; TAYLOR, 1997).

Quadro 3 - Fases impuras dos compostos do clínquer em seu formado no microscópio.

NOME DO COMPOSTO	ABREVIACÃO	FASES IMPURAS	FORMATO
Silicato tricálcico	C ₃ S	Alita	Hexagonal
Silicato dicálcico	C ₂ S	Belita	Arredondada
Aluminato tricálcico	C ₃ A	Celita	Cubico
Ferro-aluminato tetracálcico	C ₄ AF	Ferrita	Não definido

Fonte: Adaptada pela autora de (HEWLETT; LISKA, 2019)

A apresentação do composto silicato tricálcico (alita), no Quadro 3, é representada em forma estrutural hexagonal. Estudos anteriores (TAYLOR, 1997; HEWLETT; LISKA, 2019) indicam que também pode formar óxidos que contenham átomos de Al, Fe, Mg, Na, K, Cr, Ti e Mn em até 3% de sua composição. Em seguida, temos o silicato dicálcico (belita), que exibe uma forma arredondada e pode ainda apresentar formatos de reentrâncias e saliências. Na sequência, o aluminato tricálcico (celita), sendo apresentado geralmente em formato cúbico quando ocorre resfriamento lento do clínquer, ou como uma fase vítrea junto ao C₄AF. E o ferro-aluminato tetracálcico (ferrita), é uma fase que não constitui um composto definido.

Contudo, a estimativa da composição do cimento pode ser melhorada por meio de métodos rápidos para a identificação dos elementos. Esses métodos podem ser determinados através de exames microscópicos, como fluorescência de raios-X, espectrometria de raios-X entre outros, ou seja, técnicas modernas, que envolvem a análise das fases ou de imagem, como o microscópio ótico ou de varredura, difração de raios-X para identificar a fase cristalina e estudar a estrutura cristalina de algumas fases, e a análise térmica diferencial (METHA; MONTEIRO, 2016).

APÊNDICE C – PRODUÇÃO E HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

O cimento é considerado um material antigo, e por efeito disso, há registros de sua utilização desde tempos das construções dos povos egípcios, gregos e romanos. No entanto, sua evolução só veio com o surgimento de novos ares da arquitetura e engenharia já na idade média (NEVILLE, 2016).

Assim, em virtude de suas propriedades, o cimento na sociedade contemporânea passou a ser analisado como uma matéria-prima fundamental na construção civil, impulsionando um aumento significativo na sua produção, inclusive para atender as expectativas de países subdesenvolvidos, além de buscar promover a reparação de infraestrutura e habitação. Estudos afirmam que a probabilidade da produção mundial do cimento para 2050, encontrar-se na faixa de 3,7 a 4,4 bilhões de toneladas, no entanto, acredita-se que para esse mesmo ano de 2050, as indústrias produzirão cerca de 6 bilhões de toneladas de cimento no mundo (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; CEMBUREAU, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

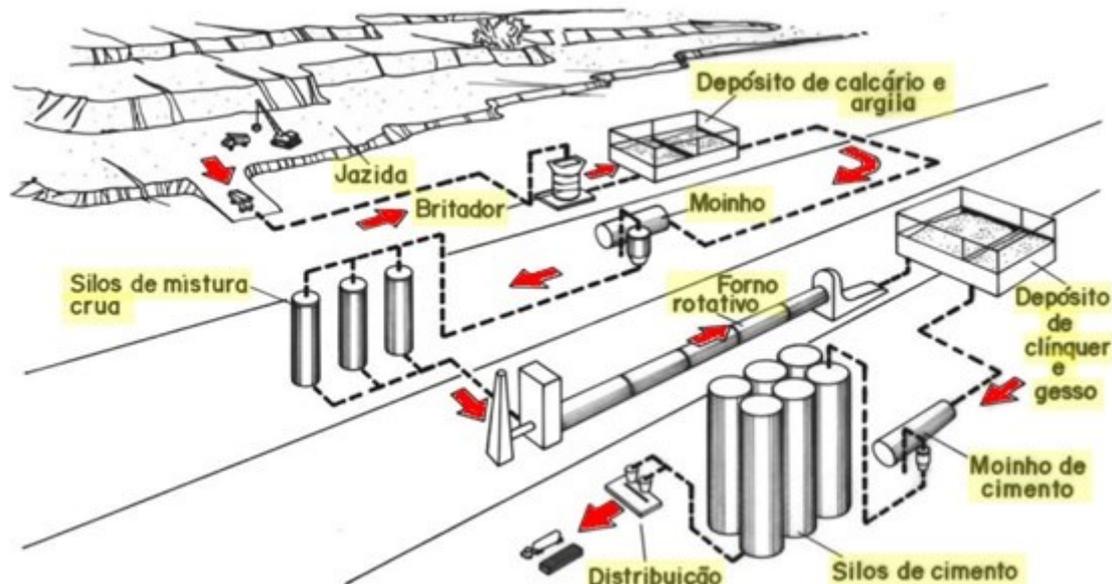
Em consequência disso, existem normativas que estabelecem a fabricação de cimento e buscam, de forma entendível, padronizar, em termos montantes, a quantidade ideal dos minerais essenciais e adições necessárias para cada tipo de cimento. Os processos operacionais fundamentais para produção do cimento Portland, abrangem o mecanismo extrativo da matéria-prima, britagem, moagem e mistura, combustão, produção e moagem do clínquer, adições de outros componentes intermediários em sua mistura, cuja é o que determinam os tipos de cimentos, e por fim, a distribuição final (BAUER, 2019; PIPOLO, 2021).

Dentre as matérias-primas utilizadas para obtenção do cimento, estão as que são extraídas das jazidas subterrâneas ou a céu aberto, que é o calcário, e as que são retiradas de lavras a céu aberto, que é a argila, e os eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera em volumes definidos para formação de compostos hidráulicos e propriedade ligante (ABCP, 2002; TAYLOR, 1997; BATTAGIN, 2011; KURDOWSKI, 2014; SANTOS, 2019).

As matérias-primas constituintes na etapa inicial da fabricação do cimento tem o propósito de obter uma combinação (farinha) homogeneizada, antes do tratamento térmico, para facilitar a formação dos compostos almeçados (MEHTA E MONTEIRO; 2014; TAYLOR, 1997; COELHO, 2021).

A Figura 39 apresenta uma ilustração simplificada do processo de produção do cimento do Cimento Portland.

Figura 39 - Fluxograma simplificado das etapas de fabricação do cimento Portland

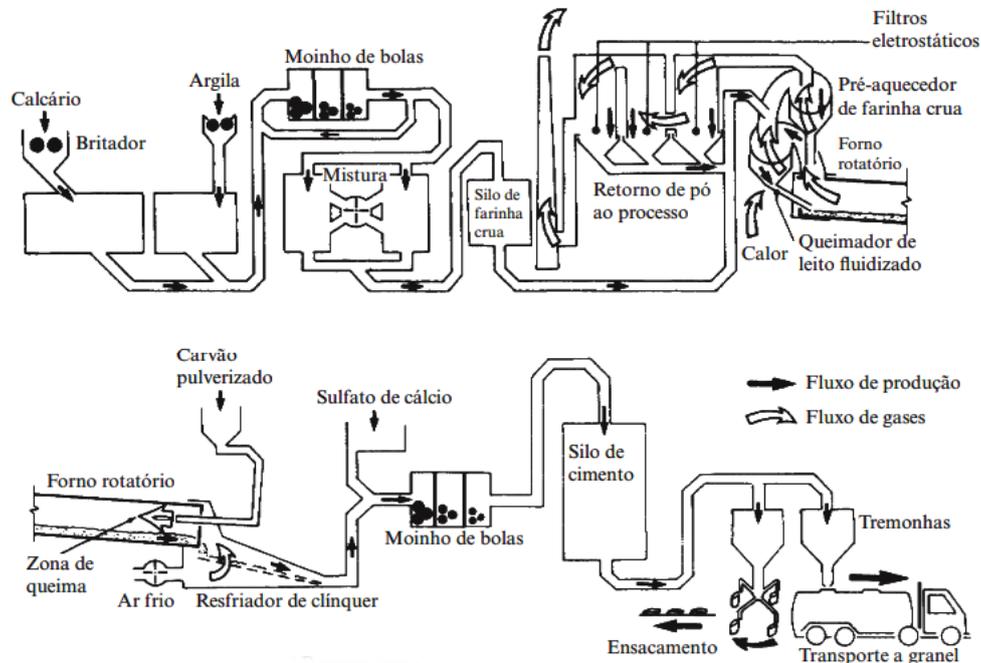


Fonte: Adaptado pela Autora de CENTURIONE (1999)

Perante o exposto, vale ressaltar que o processo de fabricação do clínquer pode ocorrer de duas formas: por via úmida ou seca, sendo que a predominância nos fornos é por via seca. Na via úmida, há a moagem e mistura dos materiais, formando uma espécie de lama com até 40% de água. Já na via seca ou semisseca, por sua vez, há uma preparação da matéria-prima, fabricação de clínquer e cimento, de modo em que, as matérias-primas são britadas, levadas nas proporções corretas a um moinho, onde são secas e reduzidas à dimensão de um pó fino. Esse pó, denominado de farinha crua, é bombeado para um silo de mistura, onde ocorre o ajuste final das proporções necessárias dos materiais para a fabricação do cimento (MEHTA E MONTEIRO; 2014; NEVILLE, 2016; SANTOS, 2019).

A Figura 40 expõe uma representação resumida do processo por via seca da fabricação de cimento.

Figura 40 - Representação esquemática do processo por via seca da fabricação de cimento.



Fonte: Neville (2016 p. 4)

Observa-se na Figura 40 que, com base no método optado, a matéria-prima é misturada em proporções específicas e levada ao forno para ser queimada. Durante esse processo, há uma troca de calor entre a farinha e os gases aquecidos, induzindo a calcinação e, por fim, a clínquerização para a formação do clínquer. Neste procedimento, em que se forma o clínquer, o mesmo sai do forno com uma temperatura elevadíssima, sendo então resfriado rapidamente por intermédio de corrente de ar ou por ação da água, isso para manter, dentro do possível, o conjunto de fases de temperatura elevadas, que é termodinamicamente instável quando estão intermediárias, mas permanecem metaestável em temperaturas mais baixas (WORRELL *et. al.*, 2001; MEHTA; MONTEIRO, 2014; BRASIL, 2019; HANEIN *et al.*, 2020).

O cimento Portland é produzido pelo aquecimento de uma mistura de calcário, argila e outros minerais, em um forno rotativo que pode chegar a uma temperatura à cerca de 1450 °C, em um processo chamado de clínquerização ou sintetização, onde cristais de clínquer são produzidos. Nesta etapa acontece

uma série de reações físicas e químicas e, ao esfriar, o material aglomera-se em partículas chamadas de clínquer, que podem variar de 2 a 20 mm de diâmetro (Figura 41) (TAYLOR, 1997; CASTRO, 2021).

Figura 41 - Grão de um clínquer de cimento Portland



Fonte: Stutzman (2004, p. 958).

O clínquer é o principal componente do cimento Portland, que compreende em torno de 95% em peso, os outros 5% restantes são componentes adicionais, como escória, calcário e gesso. Após o resfriamento do clínquer, ele recebe uma pequena quantidade de sulfato de cálcio. Em seguida é moído até se tornar um pó bastante fino, para só depois ser transportado ao moinho de bola acoplado a um separador de ar. Depois de triturado, se obtém o produto final, conhecido como cimento Portland, que é direcionado aos silos de estocagem, embalado e transportado para o mercado (ABCP, 2002; BATTAGIN, 2011; METHA; MONTEIRO, 2014; PIPOLO, 2021).

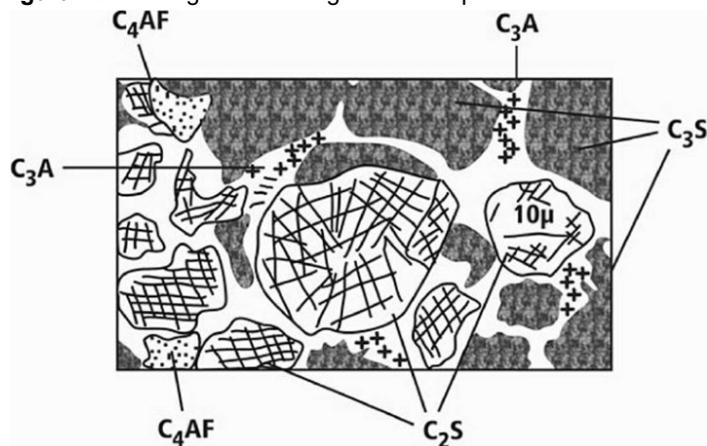
A adição do sulfato de cálcio (gipsita) após o clínquer em pó resfriado tem como objetivo controlar o tempo de pega, ou seja, tem função de desacelerar a hidratação dos aluminatos. Isso ocorre, mediante a reação que forma o sulfato-aluminato de cálcio, a qual é imediata com a formação de hidratos cristalinos, sendo mais rápida que a reação dos silicatos. Portanto, o método produtivo do clínquer pode ser resumido como uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais, transformadas através do calor (MEHTA; MONTEIRO, 2014; BRASIL, 2019).

O cimento Portland, resultante da moagem do clínquer, é composto principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio, basicamente sem presença

de cal livre (PETRUCCI, 1998). Esses silicatos e aluminatos se hidratam na medida em que entram em contato com a água, causando o endurecimento da massa e o ganho de resistência buscada. No entanto, mesmo o endurecimento hidráulico do cimento ocorrendo por hidratação desses compostos nos grãos de clínquer, sempre haverá uma pequena fração de cal livre (CaO) e, em certa medida de magnésia (MgO), devido à necessidade de se ter no processo da fabricação, certo excesso de cálcio. Esse excesso é para assegurar a formação adequada do silicato tricálcico (FUSCO, 2011). Com relação à presença da magnésia, essa decorre de sua existência nos calcários, que servem de matéria-prima. Portanto, cabe ressaltar que o processo de hidratação do cimento e a microestrutura que se forma, são fortemente influenciados pela composição do cimento e pelas condições da sua hidratação (BAHAFID *et al.*, 2017; MIRANDA, 2020).

Na Figura 42 segue uma microfotografia da seção transversal de um clínquer de cimento Portland, com seus respectivos compostos descritos.

Figura 42 - Micrografia de um grão de clínquer de cimento Portland



FONTE: Fusco (2011 p. 30)

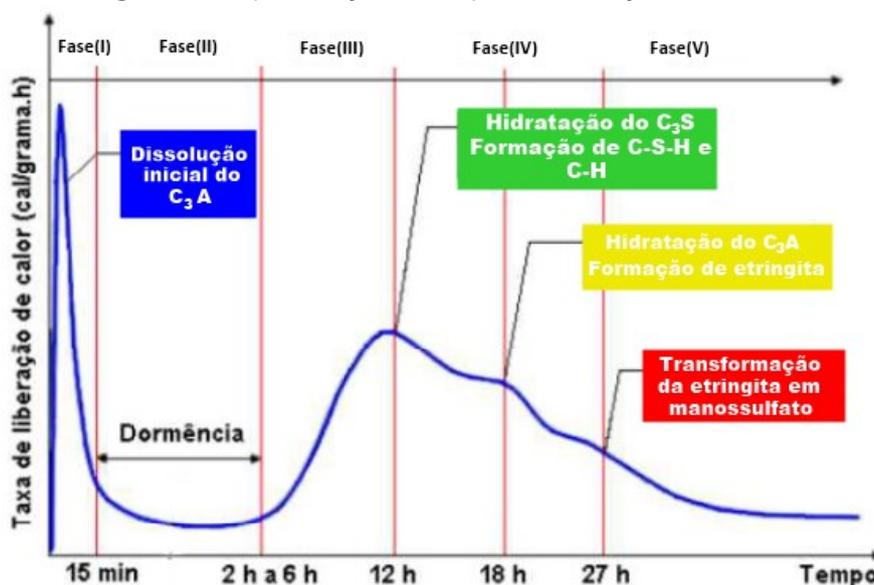
Conforme observado na Figura 42, os compostos do cimento são: o silicato tricálcico (C₃S), silicato dicálcico (C₂S), aluminato tricálcico (C₃A) e o ferro-aluminato tetracálcico (C₄AF). Esses quatros compostos são cristalinos e hidratam-se para formar uma estrutura rígida (GONÇALVES, 2013; RAMALHO, 2016). Os principais produtos da hidratação consistem na reação desses materiais quando em contato com a água, fazendo com que a hidratação do C₂S

e C_3S resulte na formação de um gel rígido chamado, silicato de cálcio hidrato (CSH), constituído por proporções variáveis dos componentes ($Ca_3Si_2O_7 \cdot 3H_2O$), e o hidróxido de cálcio (CH ou Portland ita) ($Ca(OH)_2$), originados dos silicatos, acompanhados de etringita (AFt) e monossulfato aluminato (AFm), em menores quantidades, provenientes dos aluminatos, para assim forma produtos hidratados que, com o tempo, resultam em uma massa firme e resistente, ou melhor dizendo, na pasta de cimento hidratada (CHOUDHARY *et al.*, 2015; NEVILLE, 2016; MACHADO, 2021).

O comportamento desses fenômenos químicos na hidratação do cimento ocorre em diferentes tempos e é bastante variado, além de ser complexo e interdependente, o que termina dificultando o entendimento dos mecanismos individuais ou dos parâmetros que determinam suas taxas de hidratação (BULLARD *et al.*, 2011). Ainda assim, vale destacar que os constituintes individuais do cimento reagem com a água em diferentes taxas, e sua hidratação está associada à liberação de quantidades distintas de calor, ou seja, essa hidratação pode ser monitorada com base na quantidade de calor liberada em função do tempo durante a hidratação do cimento Portland (BEAUDOIN; ODLER, 2017; LAVAGNA; NISTICÒ, 2022).

A hidratação do cimento é uma reação exotérmica, e a taxa de liberação de calor é um indicativo da velocidade de hidratação (NEVILLE, 2016). Mediante a isso, é possível analisar através do gráfico na Figura 43, essa variação da taxa de liberação de calor com o tempo. Geralmente essa variação é caracterizada por cinco etapas, demonstrando a presença de três picos, sendo eles relacionados à velocidade de hidratação nos três primeiros dias ou próximo a isso, desde o momento em que o cimento seco entra em contato com a água pela primeira vez. A Figura 43 indica as etapas de reação da hidratação do cimento Portland.

Figura 43 - Representação das etapas de hidratação do cimento.



Podemos visualizar na figura 43 que as fases da hidratação da pasta do Cimento Portland são caracterizadas por cinco etapas: estágio inicial, fase (I), período de indução, fase (II), período de aceleração, fase (III), período de desaceleração, fase (IV) e estágio final, fase (V) (TAYLOR, 1997; BULLARD *et al.*, 2011; PIPOLO, 2021).

A fase (I), que é o estágio inicial, é o período em que a hidratação acontece de forma rápida, liberando os íons e iniciando a dissolução das fases anidras C_3S , C_3A e C_4AF , além da formação do primeiro pico de calor. Na sequência, vem à fase (II), cuja é um período em que a velocidade geral da hidratação diminui consideravelmente por um determinado tempo, e entra em um período de dormência. Esse período tem esse nome devido possui uma baixa atividade em que as alterações na pasta são mínimas, por isso é chamado de indução ou de dormência (OLIVEIRA, 2017).

Dado continuidade, vem à fase (III), que é o período em que a hidratação acelera novamente, aumentando o calor liberado e rápida formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio (CH ou portlandita), mas, com diminuição da concentração de íons Ca^{2+} na solução. Na fase (IV) inicia o período de desaceleração, onde a taxa de hidratação vai diminuindo

progressivamente, passando a ser controlada pelo processo de difusão. Ainda neste período, continua a acontecer a formação do C-S-H e CH lentamente, tendo papel de destaque a atuação do C_2S , além de ocorrer interação da etringita formada nos estágios iniciais com o C_3A e o C_4AF (PIPOLO, 2021).

Por último, se tem a fase (V), chamada de fase final, que é uma etapa que se inicia desde a fase (IV) onde acontece o período de desaceleração. Nessa fase, as taxas de hidratação ajustam-se a valores muito baixos e diminuindo lentamente. No entanto, vale ressaltar, que a reação de hidratação não finaliza nessa fase; ela continua a decorrer do tempo, desde que os grãos de cimento permaneçam em contato com a água. A finalização acontece apenas quando os grãos de cimento atingem sua completa hidratação, ou no caso de não há mais água para reabastecer o sistema (TAYLOR, 1997).

A hidratação do cimento é um processo complexo que envolve uma série contínua e simultâneas de reações químicas dos grãos de cimento com a água, resultando em compostos cristalinos e semi-cristalinos. (AGOSTINHO, 2021). O resultado dessas reações interdependentes, com diferentes processos cinéticos para cada fase individual, faz com que os grãos de cimento anidro sejam progressivamente dissolvidos, originando uma matriz estrutural que incorpora as moléculas de água. Esse processo resulta na formação progressiva de fases hidratadas, que termina proporcionando ao cimento na fase endurecida, sua elevada rigidez e resistência mecânica esperada (HEWLETT; LISKA, 2019; CASTRO, 2021).

Com relação à característica de atingir alta resistência, é importante ressaltar que a mesma é resultante da quantidade na matéria-prima utilizada na produção do clínquer. Na etapa para realização da dosagem adequada de calcário e argila, é possível obter uma maior quantidade de C_3S (alita) e um menor tamanho de partícula devido a uma moagem mais fina do cimento. Isso favorece uma maior área superficial (700 a 900 m^2 / kg), além de fazer com que ao cimento ao reagir com a água, se desenvolva altas resistências com maior velocidade. (ABCP, 2002; NEVILLE; BROOKS, 2013; TAYLOR, 1997).

A alta finura do cimento proporciona uma rápida hidratação e, conseqüentemente, uma alta taxa de geração de calor em idades iniciais, com rápido desenvolvimento de resistência. Entretanto, há pouco ganho de resistência após os 28 dias. Ou seja, a velocidade de hidratação sobrevém diretamente do grau de finura do cimento. Quanto mais finos estiverem os grãos de cimento, maior a área de contato com a água, facilitando a reação. A moagem menos intensa, do ponto de vista do tempo de início de pega, é satisfatória para o emprego do cimento, porém, já para a obtenção do aumento das resistências, a moagem deve ser mais enérgica, por isso é indispensável adição do gesso, que evita com que a pega seja demasiadamente rápida (NEVILLE, 2016; CASTRO, 2021).

Em termos gerais, o processo de hidratação do cimento Portland consiste em reações simultâneas dos seus compostos anidros com a água. Mesmo quando misturados, esses compostos transformam-se de uma suspensão fluida em um sólido poroso após algumas horas. Para cada composto, a velocidade da reação é diferente, e a resistência mecânica só vai se desenvolvendo ao longo de dias e meses (JUILLAND *et al.*, 2010; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

APÊNDICE D – SÍLICA ATIVA

Tipo de adição mineral do grupo de materiais pozolânicos, as quais são formados por silicatos e aluminossilicatos, na forma vítrea, e para reagirem, precisa de outros componentes além da presença da água (SOAREZ, 2017; AGOSTINHO, 2021). Os materiais pozolânicos são classificados pela NBR 12653:2014 versão corrigida 2015, em pozolanas naturais e artificiais. Pozolanas naturais são insumos de origem vulcânica ou sedimentar, enquanto as pozolanas artificiais, são provenientes de tratamento térmico ou de subprodutos industriais com atividade pozolânica, como a sílica ativa.

A sílica ativa (SA) é um material constituído de partículas esféricas no estado amorfo, ela auxilia na redução da quantidade de cimento do compósito cimentício. Ao ser incorporada na matriz cimentícia, ajuda na hidratação de silicatos, reagindo quimicamente com o hidróxido de cálcio, formando produtos com propriedades cimentantes auxiliam na diminuição dos poros da matriz. Possui um teor de $\text{SiO}_2 > 90\%$ e massa específica de $2,18 \text{ g/cm}^3$ (GUDINHO, 2022; GOBBI; HOPPE *et al.*, 2014).

No Brasil, a NBR 13956:1- 2012 que trata sobre sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta, a define como um material desenvolvido a partir do processo de produção de silício metálico ou ligas de ferro-silício 75% em fornos elétricos. Além de classifica-la em três tipos: a não densificada; a densificada; e em forma de dispersão aquosa.

A sílica do tipo natural, ou melhor, a não densificada, é um material proveniente do filtro coletor, com massa específica aparente no estado solto com intervalos de 150 kg/m^3 a 350 kg/m^3 . A densificada é um produto submetido a beneficiamento por aglomeração das partículas, esse tipo expõe uma massa específica aparente no seu estado solto, mas, superior a 350 kg/m^3 . Por fim, a sílica em forma de lama, isto é, na forma de dispersão aquosa, que é um material com que possui um teor na lama típico de 50% em massa (BERTEQUINI; MACHI; DONÁ, 2019).

A sílica é um subproduto derivado do processo de fabricação das ligas de ferro silício ou silício metálico, composta principalmente de SiO_2 , mas engloba pequenas quantidades de óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), óxido de potássio (K_2O), trióxido de ferro (Fe_2O_3), carbono livre e outras impurezas (SANTANA, 2020). No entanto, o que determina o grau de qualidade da SA é seu conteúdo de SiO_2 (PAULETTO; BREHM; GOMES, 2020). Comercialmente, a sílica do tipo não densificada está disponível em pó. Para sua produção, é necessário à utilização de fornos elétricos de fusão, modelo arco-voltaico em temperaturas de aproximadamente 2000 °C, para que no decorrer do processo, gere um gás SiO , que ao sair, oxida e condensa na zona de baixa temperatura do forno em partículas esféricas minúsculas, consistindo em sílica não cristalina. Esse material é removido por filtragem, formando as partículas de silício amorfo SiO_2 (SIDDIQUE, 2011; AMARAL; MACIOSKI; MEDEIROS, 2021).

Assim, no contexto de concretos e argamassas, a adição de sílica ativa pode trazer consequências benéficas como aumento da resistência mecânica à compressão e tração, redução da fluência, melhoria da resistência ao ataque por sulfatos e cloretos. Pesquisas buscam verificar se essas melhorias ocorrem não apenas com o cimento, mas também com o solo (GRANDE, 2003; GILIO, 2019).

O emprego da sílica ativa demonstra contribui para o aumento da resistência mecânica à compressão e tração quando utilizado como substituto parcial do cimento em compósitos cimentícios (LUO, 2020). Além disso, essa adição pode apresentar diversos benéficos adicionais, tais como o aumento na durabilidade em relação à exposição aos íons cloretos, a redução da fluência e outros (SASANIPOUR; ASLANI; TAHERINEZHAD, 2019; ADIL; KEVERN; MANN, 2020; PANESAR; ZHANG, 2020).

APÊNDICE E – ENSAIOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ E VIDA ÚTIL

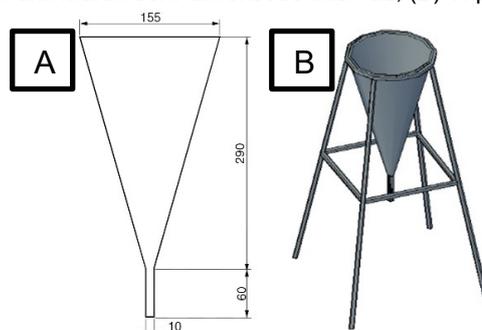
O índice de fluidez e vida útil da pasta (materiais finos + água) são determinados pelo ensaio do Funil de Marsh. Estes ensaios visam verificar a fluidez do material por meio da quantificação do fluxo de queda da massa, através da sua velocidade em massa/tempo (g/s) (MIRANDA, 2019).

Segundo a NBR 7681-2, o índice de fluidez é o tempo em segundos, que a calda leva para escoar pelo funil de Marsh em até 1000 cm³. Este índice, imediatamente antes de ser injetada a calda, não deve exceder o tempo de 12 s. Já a vida útil da calda, ela é o tempo necessário para que 1000 cm³ da mistura escoe pelo funil de Marsh, sem ultrapassar o tempo de 12 s, em medições sucessivas, a intervalos máximos de 30 min. Isso, contados a partir do término do preparo da calda (ABNT, 2013).

Diante disso, é importante ressaltar que para obter bons resultados na fluidez da calda, é necessário se atentar a alguns requisitos, como a matérias, equipamentos e procedimentos, pois, a fluidez da calda depende da natureza e da finura do cimento, do teor de água, das adições eventuais, como os aditivos químicos, bem como dos métodos e ferramentas utilizadas (NOVA, 2017). O Funil Marsh, por exemplo, deve ser posicionado em local adequado, nivelado e livre de vibrações para que facilite o seu preenchimento na hora da realização do ensaio e favoreça a leitura na proveta (VALADARES; SOUZA, 2022).

A Figura 44 apresenta o modelo e as dimensões do Funil Marsh, junto com o tripé, conforme recomendado pela NBR 7681-2 (ABNT, 2013).

Figura 44 - (A) Funil Marsh com dimensões internas, (B) Tripé de apoio com o funil.



Fonte: ABNT (NBR 7681-2: 2013 p. 2)

APÊNDICE F – ENSAIOS MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) / ESPECTROSCOPIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma das técnicas amplamente utilizada para a caracterização estrutural de materiais em função da sua elevada capacidade de detectar características microestruturais ou até mesmo em escala manométrica, dependendo do equipamento usado (REIS, 2021).

A técnica surgiu em 1930 através do pesquisador M. Knoll, sendo conhecida em inglês como Scanning Electron Microscopy (SEM). Porém, somente em 1938, por meio de uma adaptação do Microscópio de Transmissão de Elétrons (MET), com um acoplamento de bobina de varredura ao aparelho, que um outro pesquisador chamado Von Ardenne fabricou o primeiro MEV. Depois disso, outras medidas e testes para melhorar cada vez suas características, deram continuidade. Assim, no ano de 1965 pela Cambridge Scientific Instrument lançou o primeiro MEV comercial, e desde então, muitos avanços foram alcançados, possibilitando uma importante revolução na Ciência e Engenharia de Materiais (SOUSA, 2019).

No campo da micromorfologia, o MEV destaca-se como uma ferramenta prática para a observação e análise de microestruturas e microagregados (PAULA; ROCHA, 2021). Capaz de gerar imagens tridimensionais de alta resolução da superfície de qualquer material sólido, através da emissão de elétrons, o MEV fornece informações sobre a natureza química do material, identificação da estrutura, morfologia, elementos químicos e topografia da superfície da amostra em forma de imagem eletrônica (BRIZZI *et al.*, 2019). Nos últimos anos, ele tem se tornado uma ferramenta bastante relevante para o estudo de materiais cimentícios, tais como argamassas e concretos (CORREIA *et al.*, 2014; HENRIQUES, 2019).

O MEV do tipo convencional possui uma coluna óptico-eletrônica, adaptada a uma câmara porta amostra aterrado, sistema eletrônico, detectores

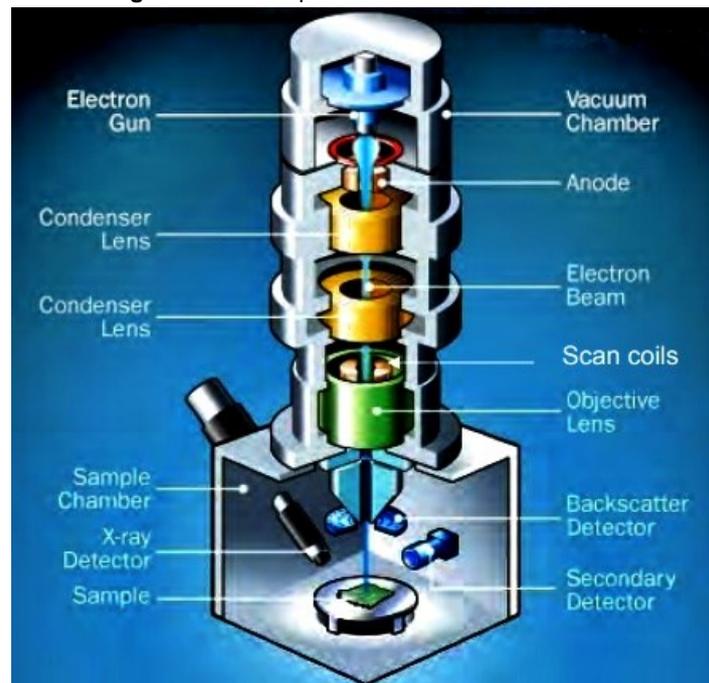
e sistema de vácuo. Para explorar a superfície da amostra, é direcionado um feixe de elétrons sob a amostra, transmitindo uma série de radiações, dentre eles os mais comuns para ostensão das imagens, os elétrons secundários (*secondary electrons* - SE) e retroespalhados (*backscattered electron* - BSE) (MALISKA, 2020).

Estudos indicam que as imagens produzidas por os elétrons SE e BSE, fornecem diferentes informações em relação ao contraste que expõem, além de uma imagem topográfica (com contraste em função do relevo), é possível ainda adquirir uma de composição (com contraste químico dos elementos presentes na amostra) (DEDAVID *et al.*, 2007; PENG *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020).

Os elétrons secundários (SE) subsidiam a imagem de topográfica da superfície da amostra, possuindo baixa energia (< 50 eV) e formando imagens tridimensionais com boa resolução entre 3 nm e 5 nm. Esses elétrons interagem diretamente frente ao feixe eletrônico e o material, originando nos átomos das regiões superficiais da amostra, resultando de interações inelásticas entre o feixe de elétrons e a amostra (NASCIMENTO, 2022).

Quanto aos elétrons retroespalhados (BSE), eles fornecem imagem que caracterizam a variação de composição, originando-se em regiões mais profundas da amostra devido ao espalhamento elástico entre o feixe de elétrons primário e os átomos da amostra. Assim, quanto maior o número atômico, mais brilhante o material é representado na imagem. Sua energia varia em (50 eV) até o valor da energia do elétron primário (PAULA, 2022).

A interação do feixe de elétrons com a amostra, que gera os elétrons SE e BSE, também dá origem a radiações eletromagnéticas na região de raios X. Por meio disso, através de um detector, é possível captar os raios X. Existem dois tipos de detectores: o método de espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e o método por dispersão do comprimento de onda (WDS). Ambos são acoplados na configuração do MEV, que permitem coletar fótons produzidos pelo feixe de elétrons primários (ISMAL *et al.*, 2019; VIEIRA, 2022).

Figura 45 - Princípio de funcionamento do MEV.

Fonte: Oveisi (2020, p.3)

A espectroscopia é uma técnica analítica que auxilia na determinação de estruturas químicas pela análise da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria. No caso do detector de raios-X EDS, por exemplo, ele é o método mais utilizado. Com ele, é possível visualizar em pontos específicos da área da amostra que se deseja estudar, os elementos químicos presentes, além de conseguir correlacionar a morfologia e superfície do material com a composição da região analisada e fazer uma análise qualitativa e semiquantitativa (DUEK, 2019; VIEIRA *et al.*, 2021).

APÊNDICE G – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Técnica de análise microestrutural é utilizada para determinar o tipo de estrutura cristalina do material, ou seja, as estruturas dos minerais em níveis atômicos. Esse procedimento acontece por meio de um espalhamento da radiação eletromagnética, provocada pela interação entre o feixe de raios-x incidente e os elétrons dos átomos, componentes do material, possibilitando a determinação do tipo de sua estrutura cristalina (QUEIROZ *et al.*, 2021).

Os raios X foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Röntgen em 1895. Inicialmente, suas pesquisas abordavam ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda da ordem de 10^{-10} m (TIPLER; MOSCA, 2014). Seguidamente, surgiu a ideia de que, no sólido cristalino, os átomos eram dispostos em um arranjo regular, com espaçamentos entre os átomos adjacentes também da ordem de grandeza de 10^{-10} m (ZANDONÁ, 2021).

Diante disso, o físico alemão Max von Laue nada satisfeito, propôs em 1912 juntar essas duas ideias de Wilhelm Röntgen e dizer que um cristal poderia servir como uma espécie de rede de difração tridimensional para raios X (OLIVEIRA NETO, 2021). De modo em que, um feixe de raios X poderia ser espalhado pelos átomos individuais de um cristal e com isso, as ondas que estavam sendo espalhadas poderiam interferir de modo análogo ao das ondas provenientes de uma rede de difração, assim gerando as primeiras experiências de difração de raios X (ASKELAND; WRIGHT, 2016). Logo, quando em 1914, Laue conduziu um experimento no qual um feixe de raios-X incidia em um cristal, e por trás do cristal havia uma chapa fotográfica. Observou-se que se formava um padrão de difração. A partir dessa descoberta, surgiram dois campos de estudo em análise de materiais: mono-cristal e difração do pó (BLEICHER; SASAKI, 2000; ZANDONÁ, 2021).

A técnica de DRX, do inglês X-Ray Diffraction (XRD), é utilizada para vários tipos de materiais, tanto em pó quanto em filmes. É bastante comum a utilização do material na forma de pó em partículas bem finas. Essas amostras são expostas à radiação x monocromática. Um dos instrumentos utilizados para

realização dessa técnica é o difratômetro, ele é constituído de uma fonte de Raios X, um porta amostra, fendas colimadoras e um detector. Com esse equipamento, é possível realizar medidas de difração de Raios X e capta registro gráfico dos sinais que as reflexões originam nos detectores eletrônicos de radiação (ARANTES, 2020).

A difração em si, ocorre quando luz é espalhada por uma matriz periódica com ordem de longo alcance, incidido sobre uma amostra produzindo interferência construtiva a diferentes ângulos. Com base nisso, existe uma lei conhecida como a Lei de Bragg, que descreve a interação da radiação com o material analisado, evidenciando a difração para diferentes planos das redes cristalinas, obtendo um difratograma, o qual relaciona as posições de picos de difração com suas respectivas intensidades (CULLITY, 1978; MIRANDA *et al.*, 2018; QUEIROZ *et al.*, 2021).

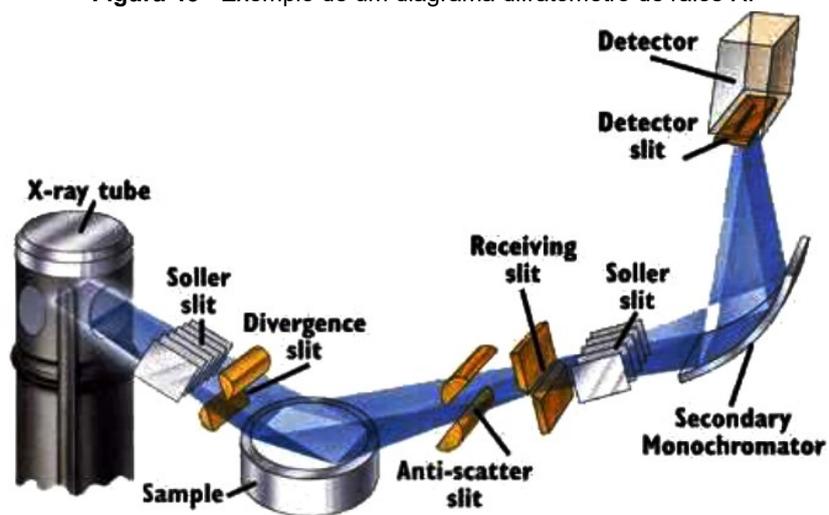
Os estudos de Bragg demonstraram que essas reflexões em diferentes camadas podem ser rearranjadas, levando em consideração a distância entre os planos cristalinos (d) da camada mais externa incidente ao comprimento de onda, (θ) o ângulo de difração dos feixes de raio-x, (λ) do comprimento de onda da radiação incidente, e o (n) que corresponde à diferença de fase entre duas ondas (número inteiro).

Segue a Equação 1, conhecida como Lei de Bragg e a Figura 46 com diagrama esquemático de um difratômetro de raios-x (CALLISTER; RETHWISCH, 2018; LOUIS, 2019; NASCIMENTO; 2021).

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Eq. (1)

Figura 46 - Exemplo de um diagrama difratometro de raios-X.



Fonte: Vella-Zarb (2020, p 66)

APÊNDICE H – ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

A análise de Fluorescência de Raios-X teve início com a descoberta dos raios-X pelo físico alemão Wilhelm Röntgen em 1895. Inicialmente empreendidos para diversas aplicações em várias áreas, os raios-X foram posteriormente aplicados à análise de FRX pelos pesquisadores Yoneda e Horiuchi, em 1971, enquanto o primeiro instrumento compacto para essa análise foi desenvolvido em 1978 por Knoth e Schwenk (SANTOS *et.al.*, 2013; BARREIROS, 2018; MIURA *et al.*, 2019; FARINHA, 2020).

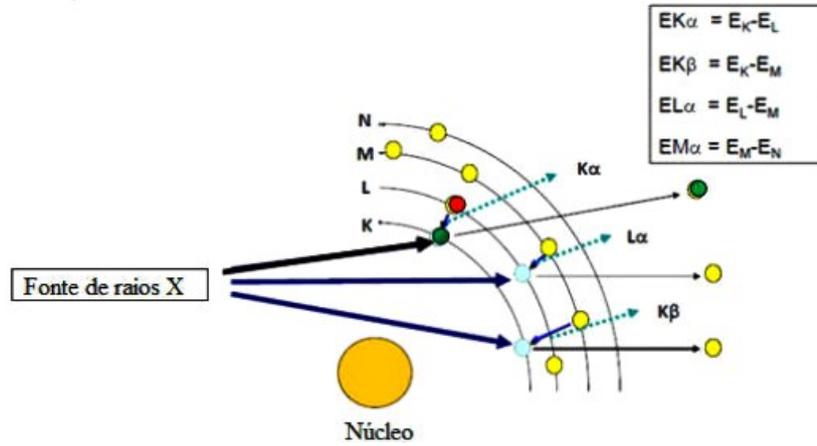
A FRX pode ser classificada como uma técnica de emissão atômica, fundamentada no efeito fotoelétrico, que permite avaliar as microestruturas de materiais naturais ou industriais. Essa técnica permite análises qualitativas (investigar comprimento de onda dos raios-X) e quantitativas (quantidade dos raios-X) dos elementos químicos presentes em uma amostra, assim como, estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento (MATTOS, 2017; GOLVEI, 2021).

Os elementos químicos na FRX são identificados na matriz de um composto por meio das emissões de radiações de altas energias com fontes de raios-X. Durante a análise, as amostras reemitem radiações de diferentes energias, variando de acordo com sua característica e o elemento que sofreu a transição. Essas emissões são identificadas pelos detectores e podem ser indicadas por $K\alpha$, $K\beta$, $L\alpha$, $L\beta$, etc. (PINTO, 2019; SANTOS; VICTORIA, 2021).

Na Figura 47, é apresentado o processo de emissão da energia característica da FRX. Esse processo, ocorre devido a uma transição do elétron, quando o material a ser analisado é atingido por um feixe de Raios X que interage com os átomos da amostra, resultando na ionização das camadas mais internas dos átomos, deixando uma vacância. Os elétrons dessa região interna, conhecidos como elétrons K, como mostra a Figura 47, são arrancados pela energia dos raios-X, e então um elétron da camada externa, sendo o L ou M, preenchem os vazios resultantes, emitindo a liberação de energia, gerando a

radiações, que é a característica do material em particular. (YANAGUISAWA, 2019; PADILHA *et al.*, 2021).

Figura 47 - Esquemática do processo de emissão da energia característica da FRX.



Fonte: Yanaguisawa (2019, p. 54)

APÊNDICE I – ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR, do inglês, Fourier Transformation Infrared) é uma técnica usada para identificar os compostos químicos em uma amostra, podendo ser aplicada aos materiais cristalinos, microcristalinos e amorfos. Trata-se de um método simples, de caracterização vibracional que diferencia compostos orgânicos e inorgânicos, e permite através do seu fator de estrutura, obter a densidade eletrônica do composto, relacionando a imagem de difração coletada com a posição dos átomos dentro da estrutura cristalina (YANAGUISAWA, 2019; BERNADO, 2023).

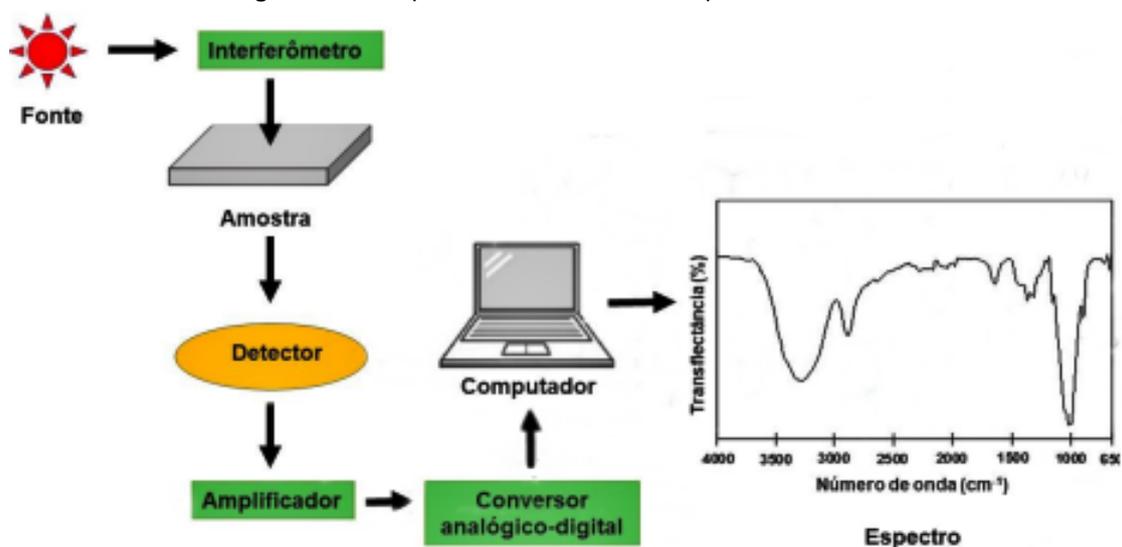
A FTIR teve seu início como ciência na década de 1880, mas somente em 1949, pelo astrofísico Peter Fellget, que o primeiro equipamento de espectro infravermelho com transformada de Fourier foi fabricado. Após isso, durante muitos anos, foram realizadas diversas análises por cientistas da época, até que, no final dos anos 60, com a aquisição de microcomputadores mais avançados, que os primeiros espectrômetros FTIR para uso comercial foram desenvolvidos. No entanto, eles permaneceram acessíveis apenas em laboratórios de pesquisas com grandes recursos, devido ser grandes e de alto custo (PERKINS, 1986; CALABRÒ; MAGAZÙ, 2016; BRANDÃO 2019; CORDEIRO, 2021).

O nome FTIR é derivado do sinal em forma de ondas chamado interferograma, obtido a partir da operação de transformada de Fourier realizada pelo computador. Esse processo resulta no espectro IR natural (raw), que é o perfil espectral de intensidade versus número de ondas. O espectrômetro é composto por uma fonte policromática contínua de radiação (um material cerâmico aquecido pela passagem de corrente elétrica), um interferômetro, amostrador, detector, amplificador, conversor analógico-digital e um computador (Figura 49) (KAWAN, 2017; SILVA, 2020).

O interferômetro possui janelas e lentes, gerando radiações compostas por dois feixes: um espelho fixo e o outro móvel. que são os que produzem o sinal denominado interferograma no caminho óptico traçado. Na sequência, ao

entrar em contato com a amostra, o detector mede o sinal para todas as frequências simultaneamente. O sinal então é enviado para o amplificador, onde as contribuições de alta frequência são excluídas. Finalmente, após um processo de conversão, os dados são encaminhados para o computador, para por fim obter a transformação de Fourier e obtenção do espectro (MELO DUARTE, 2021).

Figura 48 - Componentes básicos de um espectrômetro FTIR.



Fonte: Adaptada pela autora de Mohamed et. al (2017, p 18)

O processo de análise dessa técnica acontece quando a radiação no equipamento se encontra na faixa do infravermelho e incide sobre a amostra, com isso, parte da radiação é absorvida por ela e a outra parte é transmitida. Diante disso, e por meio do intervalo de energia vibracional, através de um sinal detectado, gerar os resultados, e pós isso, eles são apresentados em forma de frequência do pico de absorção nos espectros eletromagnéticos. Esses espectros representam a excitação vibracional e energia rotacional das moléculas presentes na amostra, associadas às várias ligações químicas e grupos funcionais (BERNARDO, 2023).

Essas vibrações ocorrem devido à interação da radiação infravermelha com a matéria e podem variar conforme as estruturas, os tipos de ligações existentes entre os átomos e os grupos funcionais para ocorrer a ressonância com a radiação infravermelha incidente. Essa radiação infravermelha converte-

se em energia de vibração quando absorvida por uma molécula, resultando no acoplamento do campo elétrico oscilante da vibração molecular (SILVA, 2020).

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO CIMENTO PORTLAND – CP II-F 32

Certificado de ensaios em cimento

CP II-F-32

Cimento Portland Composto com Filer

Outubro 2022

ABNT NBR 16697

Fábrica

Pitimbu | PB



Identificação

Responsável Técnico: Frederico De Vasconcelos Lima Filho | CRQ: 01303393 - 1ª Região
 Endereço: Rodovia PB 044, km 18,5 | 58.324-000 | Fazenda CCP | Pitimbu | PB
 Marca e embalagem comercializada: MULTIMAX | Granel, big-bag e ensacado



Ensaio Químicos

ENSAIOS	METODOLOGIA	UN.	DESV.PAD.	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Resíduo Insolúvel - RI	ABNT NBR NM 15	%	0,45	5,43	≤ 7,5
Perda ao Fogo - PF	ABNT NBR NM 18	%	0,56	10,36	≤ 12,5
Óxido de Magnésio - MgO	ABNT NBR 14656	%	0,11	2,43	não aplicável
Trióxido de Enxofre - SO ₃	ABNT NBR 14656	%	0,10	2,70	≤ 4,5
Óxido de Sódio - Na ₂ O	ABNT NBR 14656	%	0,01	0,04	não aplicável
Óxido de Potássio - K ₂ O	ABNT NBR 14656	%	0,03	1,24	não aplicável
Equivalente Alcalino - Na ₂ O _{eq}	Na ₂ O + 0,658*K ₂ O	%	0,02	0,85	não aplicável

Ensaio Físicos

ENSAIOS	METODOLOGIA	UN.	DESV.PAD.	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Área Específica (Blaine)	ABNT NBR 16372	cm ² /g	193	4.030	não aplicável
Massa Específica	ABNT NBR 16605	g/cm ³	0,00	3,00	não aplicável
Finura pela peneira 75 µm	ABNT NBR 11579	%	0,17	1,04	≤ 12,0
Finura pela peneira 45 µm	ABNT NBR 9202/85	%	0,83	9,48	não aplicável
Água de consistência da pasta	ABNT NBR 16606	%	0,5	29,3	não aplicável
Início de pega	ABNT NBR 16607	min	11	175	≥ 60
Fim de pega	ABNT NBR 16607	min	11	235	≤ 600
Expansibilidade à quente	ABNT NBR 11582	mm		0,0	≤ 5

Ensaio Mecânicos

ENSAIOS	METODOLOGIA	UN.	DESV.PAD.	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Resist. à Compressão - 1 Dia	ABNT NBR 7215	MPa	0,8	13,5	não aplicável
Resist. à Compressão - 3 Dias	ABNT NBR 7215	MPa	0,8	22,4	≥ 10,0
Resist. à Compressão - 7 Dias	ABNT NBR 7215	MPa	0,8	28,3	≥ 20,0
Resist. à Compressão - 28 Dias	ABNT NBR 7215	MPa	0,9	34,5	≥ 32,0

Observações

Ensaio aos 28 dias não concluído em função da idade de ruptura ser maior que a presente data.

Atualização: sexta-feira, 11 de novembro de 2022

Tiago Andrade Couto
Gerente de Produtos e Assessoria Técnica

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DA SÍLICA ATIVA



Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa

Estrada de Santiago, S/Nº Pojuca - Bahia
CNPJ 15.141.799/0001-03 Inscrição estadual 02.500.779-NO
Fone: (PABX) (71) 3645-8700 Fax.: (71) 3645-1316

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ		Nº.: FISPQ – 005	
Produto SÍLICA ATIVA D	Revisão 01	Data junho/2014	Página 1/3

RESPONSÁVEL: GERÊNCIA DE NEGÓCIOS

SEÇÃO I – IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

NOME COMERCIAL: Sílica Ativa D.

NOME DA EMPRESA: Cia. de Ferro Ligas da Bahia – FERBASA

ENDEREÇO: Estrada de Santiago S/Nº, Pojuca, BA/BRASIL CEP 48120-000

TELEFONE: (71) 3645-8700 Site: www.ferbasa.com.br e-mail: ferbasa@ferbasa.com.br

SEÇÃO II – COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE INGREDIENTES

COMPOSIÇÃO: Sílica amorfa, óxido de sódio, óxido de potássio e umidade.

UTILIZAÇÃO: Em cimento, concreto, argamassa e pasta de cimento.

SUBSTÂNCIA	CAS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	ACGIH – TLV – TWA (mg/m ³)
Sílica amorfa (SiO ₂)	69012-64-2	≥ 85,0	2
Óxido de sódio (Na ₂ O)	1313-59-3	≤ 1,5	-
Perda de fogo (PF)	-	≤ 6,0	-
UMIDADE (H ₂ O)	-	≤ 3,0	-

1 – CAS: Chemical Abstract Service Registry Number

2 – ACGIH – TLV-TWA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists – Threshold Limit Value-Time Weighted Average exposure concentration for a conventional 8-hour (TVL, PEL), workday and a 40-hour workweek. (ver. Seção 16).

SEÇÃO III – IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

EFEITOS AMBIENTAIS: A Sílica ativa é considerada não perigosa (não inerte).

PERIGOS FÍSICOS E QUÍMICOS: Evitar contato com ácido e/ou hidróxido.

PERIGOS ESPECÍFICOS: A Sílica ativa não inflamável, não explosivo.

SEÇÃO IV – MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

OLHOS: Lave com água em abundância por 15 minutos no mínimo. Não use antídoto químico. Procure assistência médica.

INALAÇÃO: Remova a vítima para local arejado e ventilado. Caso a respiração seja dificultosa, aplique respiração artificial (boca-a-boca). Procure assistência médica.

INGESTÃO: Procure assistência médica. A aplicação de lavagem gástrica deve ser precedida de orientação médica.

PELE: Lave com água e sabão neutro

SEÇÃO V – MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

A Sílica ativa não inflamável.

SEÇÃO VI – MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

PRECAUÇÕES PESSOAIS: Evitar contato com os olhos, vias respiratórias e pele. Mantenha fora do alcance de crianças.

PRECAUÇÕES AMBIENTAIS: Usar lona sobre o produto derramado/vazado até realizar sua remoção. Evitar que o produto se espalhe sobre o solo.

MÉTODOS DE REMOÇÃO E LIMPEZA: A remoção do produto com utensílio apropriado pá, enxada e etc.



Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa

Estrada de Santiago, S/Nº Pojuca - Bahia
 CNPJ 15.141.799/0001-03 Inscrição estadual 02.500.779-NO
 Fone: (PABX) (71) 3645-8700 Fax.: (71) 3645-1316

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ		Nº.: FISPQ - 005	
Produto SÍLICA ATIVA D	Revisão 01	Data junho/2014	Página 2/3

SEÇÃO VII – MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

O produto deve ser entregue em sacos, pallets ou containres, condicionada na forma natural ou densificada.

MANUSEIO: Em local ventilado, arejado e seco.

ARMAZENAGEM: Em local ventilado e livre de ação de intempéries, armazenamento do produto deve ser separado de ácidos (HF) e álcalis (KOH e NaOH). Prazo de validade do produto: Indeterminado.

SEÇÃO VIII – CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

VENTILAÇÃO: Use em local ventilado e/ou com exaustão mecânica.

PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA: Use máscara com filtro contra sólidos suspensos.

OLHOS: Use óculos panorâmico.

MÃOS: Use luvas de segurança.

COMENTÁRIOS ADICIONAIS: Use equipamento de proteção individual, evitando contato do produto com a pele.

SEÇÃO IX – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

ESTADO FÍSICO: Sólido

DIÂMETRO MÉDIO: 0,40 µm

RESÍDUO NA PENEIRA 45µm: ≤ 10,0%

APARÊNCIA: Pó de dimensões micrométricas

COR: Cinza claro

ODOR: Sem odor

pH: ≤ 10,0

PONTO DE FUSÃO: 1550-1570 °C

PONTO DE FULGOR: Não aplicável

PERDA DE FOGO: ≤ 6%

DENSIDADE APARENTE: 150 – 700 Kg/m³

SOLUBILIDADE: Insolúvel em água; Solúvel HF e KOH

AREA ESPECIFICA B.E.T.: ≥ 15.000 e ≤ 30.000 m²/Kg.

LIMITE DE EXPLOSIVIDADE: Não aplicável.

SEÇÃO X – ESTABILIDADE E REATIVIDADE

ESTABILIDADE: () INSTÁVEL (x) ESTÁVEL

REATIVIDADE: A Silica ativa é solúvel em álcalis (KOH e NaOH) e reage com ácido fluorídrico (HF) formando gás tóxico (SiF4)

SEÇÃO XI – INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

TOXIDADE AGUDA:

OLHOS: Pode causar irritação e desidratação.

PELE: Pode causar irritação e desidratação.

INALAÇÃO: Pode causar irritação das mucosas.

INGESTÃO: Pode causar irritação e desidratação das mucosas.

TOXIDADE CRÔNICA: A inalação do produto é considerada de baixo risco para o desenvolvimento da fibro pulmonar, a inalação por um longo período de poeira em alta concentração quando a exposição é acima da recomendada pelos limites de saúde ocupacional, causa pneumonia.

SEÇÃO XII – INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

A Silica ativa é caracterizado como não perigoso ao meio ambiente.



Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa

Estrada de Santiago, S/Nº Pojuca - Bahia
 CNPJ 15.141.799/0001-03 Inscrição estadual 02.500.779-NO
 Fone: (PABX) (71) 3645-8700 Fax.: (71) 3645-1316

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ		Nº.: FISPQ – 005	
Produto SÍLICA ATIVA D	Revisão 01	Data junho/2014	Página 3/3

SEÇÃO XIII – CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

A Sílica ativa e restos de resíduos não são perigosos, a disposição final do resíduo deve esta de acordo com a legislação vigente para resíduo não perigoso e, a embalagem usada pode ser reciclada.

SEÇÃO XIV – INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTES

A Sílica ativa não é perigoso, não transportar em conjunto com substâncias descritas na seção 10.

SEÇÃO XV – REGULAMENTAÇÕES

Não há regulamentação aplicável para este produto.

SEÇÃO XVI – PRECAUÇÕES ESPECIAIS / COMENTÁRIOS ADICIONAIS

CAS: Número e registro de substância no sistema de classificação codificada de substâncias químicas (Chemical Abstract Service).

ACGIH – TLV – TWA: Conferencia americana governamental da higiene industrial – valores limites de exposição a uma concentração média ponderada pelo tempo: Valor limite de exposição do profissional a uma concentração média ponderada pelo tempo de uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais, onde o profissional pode esta repetitivamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à sua saúde.

A Sílica ativa deve ser armazenado/estocado, manuseado e usado de acordo com as boas práticas de higiene industrial e em conformidade com qualquer regulamentação legal. A informação aqui contida está baseada no atual estado do nosso conhecimento e pretende descrever nosso resíduo do ponto de vista das exigências de segurança. Ela não deve, portanto ser tomada como garantia de propriedades específicas. Desde que o uso atual por outros esteja além do nosso controle é de responsabilidade do usuário determinar a segurança, toxicidade e adequação para seu próprio uso da sílica descrito nesta FISPQ.

ANEXO C – FICHA TÉCNICA DA QUITOSANA EM PÓ



Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa

Estrada de Santiago, S/Nº Pojuca - Bahia
 CNPJ 15.141.799/0001-03 Inscrição estadual 02.500.779-NO
 Fone: (PABX) (71) 3645-8700 Fax.: (71) 3645-1316

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ		Nº.: FISPQ - 005	
Produto SÍLICA ATIVA D	Revisão 01	Data junho/2014	Página 2/3

SEÇÃO VII – MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

O produto deve ser entregue em sacos, pallets ou contêineres, condicionada na forma natural ou densificada.

MANUSEIO: Em local ventilado, arejado e seco.

ARMAZENAGEM: Em local ventilado e livre de ação de intempéries, armazenamento do produto deve ser separado de ácidos (HF) e álcalis (KOH e NaOH). Prazo de validade do produto: Indeterminado.

SEÇÃO VIII – CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

VENTILAÇÃO: Use em local ventilado e/ou com exaustão mecânica.

PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA: Use máscara com filtro contra sólidos suspensos.

OLHOS: Use óculos panorâmico.

MÃOS: Use luvas de segurança.

COMENTÁRIOS ADICIONAIS: Use equipamento de proteção individual, evitando contato do produto com a pele.

SEÇÃO IX – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

ESTADO FÍSICO: Sólido

DIÂMETRO MÉDIO: 0,40 µm

RESÍDUO NA PENEIRA 45µm: ≤ 10,0%

APARÊNCIA: Pó de dimensões micrométricas

COR: Cinza claro

ODOR: Sem odor

pH: ≤ 10,0

PONTO DE FUSÃO: 1550-1570 °C

PONTO DE FULGOR: Não aplicável

PERDA DE FOGO: ≤ 6%

DENSIDADE APARENTE: 150 – 700 Kg/m³

SOLUBILIDADE: Insolúvel em água; Solúvel HF e KOH

AREA ESPECIFICA B.E.T.: ≥ 15.000 e ≤ 30.000 m²/Kg.

LIMITE DE EXPLOSIVIDADE: Não aplicável.

SEÇÃO X – ESTABILIDADE E REATIVIDADE

ESTABILIDADE: () INSTÁVEL (x) ESTÁVEL

REATIVIDADE: A Sílica ativa é solúvel em álcalis (KOH e NaOH) e reage com ácido fluorídrico (HF) formando gás tóxico (SiF₄)

SEÇÃO XI – INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

TOXIDADE AGUDA:

OLHOS: Pode causar irritação e desidratação.

PELE: Pode causar irritação e desidratação.

INALAÇÃO: Pode causar irritação das mucosas.

INGESTÃO: Pode causar irritação e desidratação das mucosas.

TOXIDADE CRÔNICA: A inalação do produto é considerada de baixo risco para o desenvolvimento da fibrose pulmonar, a inalação por um longo período de poeira em alta concentração quando a exposição é acima da recomendada pelos limites de saúde ocupacional, causa pneumonia.

SEÇÃO XII – INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

A Sílica ativa é caracterizado como não perigoso ao meio ambiente.