



Faculdade de Ciências

Departamento de Química

Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais

**Avaliação da Produção de Argamassas com Substituição Parcial do
Cimento 42.5N e 32.5N por Conchas Marinhas e Cinzas do Bagaço de
Cana-de-Açúcar**



Autor: Armindo Oliveira Nhantumbo

Maputo, 2026

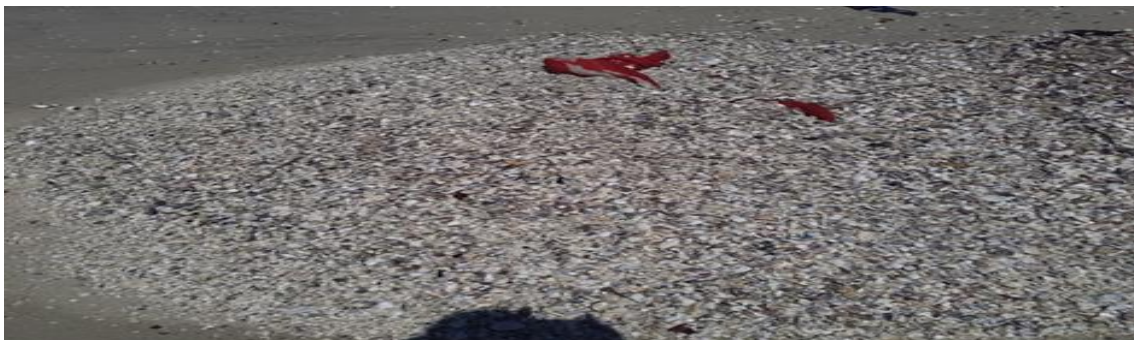


Faculdade de Ciências

Departamento de Química

Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais

**Avaliação da Produção de Argamassas com Substituição Parcial do
Cimento 42.5N e 32.5N por Conchas Marinhas e Cinzas do Bagaço de
Cana-de-Açúcar**



Autor: Armino Oliveira Nhantumbo

Supervisores: Prof. Doutor Arão João Manhique

Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova

Prof. Doutor Alcides Siteo

Maputo, 2026



Faculdade de Ciências

Departamento de Química

Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais

ACTA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO

No dia **04 de Julho de 2025**, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane, o candidato **Armindo Oliveira Nhantumbo** apresentou e defendeu a sua **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO** com o título: **"Avaliação da Produção de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento 42.5N e 32.5N por Conchas Marinhas e Cinzas do Bagaço de Cana-de-Açúcar"**

A DELIBERAÇÃO SOBRE A CLASSIFICAÇÃO FOI A SEGUINTE:

A tese do/a candidato foi _____

Com classificação final de _____

Unanimidade _____ **voto de qualidade do presidente do Júri** _____

Assim, o candidato obteve o grau de **Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais**, pela Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

APROVADO ou REPROVADO

Indicar a menção (Excelente, Muito Bom, Bom, Suficiente, Reprovado)

O Júri

Nome e assinatura:

Presidente: Prof. Doutor Eutilério Chaúque _____

Supervisor: Prof. Doutor Arão Manhique _____

Arguente: Prof. Doutor Adolfo Firmino Condo _____

AGRADECIMENTOS

Com toda minha fé agradeço a Deus pelo dom da vida, perseverança, e por mais uma oportunidade de crescer profissionalmente.

A minha esposa, Márcia Moisés Banze pelo amor, compreensão, paciência e apoio incondicional em todos momentos, a minha profunda e eterna gratidão.

Aos meus irmãos e a toda minha família, pelo carinho e apoio incondicional, confiança para continuar, a quem devo tudo o que sou hoje.

Aos meus supervisores, Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova, Prof. Doutor Alcides Siteo e Prof. Doutor Arão João Manhique pela orientação, disponibilidade, paciência, motivação em trabalhar neste tema, esforço, apoio científico, ensinamentos e confiança demonstrada na realização desta pesquisa.

A minha Mãe Filomena Elias Comé (in memoriam). Onde quer que esteja, você me guia.

Ao responsável do laboratório Central de Química, Prof. Doutor Eutílerio Chauque pela ajuda na caracterização dos materiais usados neste estudo. A Lic. Nelda Comé pela ajuda na preparação das amostras para a caracterização.

Aos funcionários do laboratório de materiais da empresa Trans Aly, Sr. Paulo Lança e Adelino, pela ajuda na realização de ensaios de resistência à compressão.

Ao meu colega e amigo Salimo Salimo pela sua contribuição e ajuda na realização dos ensaios mecânicos no laboratório da empresa Cimentos .

Ao Sr. Chico e a todos docentes, investigadores e membros do CTA do Departamento de Química.

Obrigado especial ao meu amigo Bento Guirengo por disponibilizar o seu Laptop para a realização da parte da Metodologia Científica.

Aos meus colegas de turma de mestrado edição 2020, pelo companheirismo, encorajamento e incentivo a levar avante este projecto.

Aos meus amigos e colegas, Silvestre Muiambo, Lucas Tamele, Hélió Dima, Pascoal Cossa, Quitéria Naponte, Mouzinho Cavele e Ana Nicolino, pela ajuda e ensinamentos compartilhados durante a execução desta pesquisa.

O Meu Muito Obrigado!

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a minha irmã, Bevinda Simão Tamele, que sempre me acompanha e me apoia em toda minha vida.

À memória da minha querida mãe, Filomena Elias Comé, pelos ensinamentos, os conselhos, o carinho, fizeram de mim a pessoa que sou hoje, e as lembranças ainda estão vivas dentro de mim, e nelas me refugio para lutar e enfrentar os obstáculos da vida.

Com eterna saudade!

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Armindo Oliveira Nhantumbo, declaro por minha honra que a presente Dissertação de Mestrado nunca foi apresentado para a obtenção de qualquer grau académico ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu trabalho. Este trabalho é apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Química e Processamento de Recursos Locais, no Departamento de Química da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, julho de 2026

O autor

(Armindo Oliveira Nhantumbo)

RESUMO

Introdução: A argamassa é uma pasta formada pela mistura do cimento Portland, areia e água. A constante utilização da argamassa na construção motiva o desenvolvimento de estudos que visam aumentar as resistências mecânicas. Estudos mostraram que a substituição do cimento por materiais pozzolânicos produz argamassas com altos valores de resistências mecânicas. **Objectivo:** Avaliar a produção de argamassas com substituição parcial do cimento Dugongo 42.5N e 32.5N por conchas marinhas e cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. **Metodologia:** A cinza do bagaço foi colhida na Açucareira de Xinavane, e foi seca, queimada, moída e calcinada a 550 °C e 900 °C por 3 e 2h, respectivamente. As conchas *Polynices Mammilla*, *Ennucula Uruguayensis* e *Anadara granosa* foram colhidas na Praia da Costa do Sol na Cidade de Maputo e foram lavadas, secas, moídas e calcinadas entre 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1100 °C por 2 e 3h. Para a determinação da composição química usou-se a Fluorescência de raios -X e a análise termogravimétrica foi usada para se investigar o comportamento térmico das conchas. Preparou-se argamassas com substituição que varia entre 0, 5, 8, 10, 13 e 15% do cimento 32.5N e 42.5N por conchas marinhas e cinzas do bagaço de cana e fez-se ensaios de resistência à compressão e flexão das argamassas em 7 e 28 dias. **Resultados:** Nas conchas marinhas o teor de CaO varia entre 96.38 a 99.57%. A calcinação das conchas a 1100 °C por 3h apresentou 98.99% de CaO na *Anadara granosa*, 99.23% para *Ennucula Uruguayensis* e 98.92% em *Polynices Mammilla*, respectivamente. A calcinação das cinzas a 900 °C/2h apresentou 79.84% de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ e 51.78% de SiO_2 . Os cimentos 42.5N e 32.5N apresentaram o mesmo teor de SiO_2 de 22.19%, e 60.81 e 67.37% de CaO, 4.84 e 4.71% de Fe_2O_3 , 0.64 e 7.81% de Al_2O_3 , respectivamente. A substituição de 5% do cimento 42.5N por cinzas do bagaço resultou em maior resistência à compressão, aos 28 dias. As argamassas com 5% demonstraram resultados de resistência à compressão comparáveis a argamassa controlo nos dois tipos de cimentos. Em 28 dias de cura, a substituição em até 10% do cimento 32.5 N por conchas aumenta a resistência a flexão. A associação de conchas + cinzas resultou em resultados de resistência à compressão inferiores. **Conclusões:** O aumento da percentagem de substituição do cimento 32.5N e 42.5N em até 10% diminui a resistência à compressão. As conchas podem substituir o cimento 42.5N em até 5%, e 10% para cimento Portland 32.5N. A mistura de conchas+cinzas pode substituir o cimentos 32.5N até 13%.

Palavras-chaves: Argamassas, resíduos de conchas e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

This work aims to study the production of mortars with partial replacement of 32.5N and 42.5N cement Portland by seashell (SS) and sugarcane bagasse ash (SBA). In this research, three types of shells were used, *Polynices mammilla*, *Ennucula uruguayensis* and *Anadara granosa* (Cockle/Blood Clam).

Seashell was collected on the beach of Costa do Sol in Maputo City. Then it was washed, dried and burning between 800 °C, 900 °C, 1000 °C and 1100 °C for two to three hours. Sugarcane bagasse was collected on a sugar mill company, namely Açucareira de Xinavane, and was burning at 550 °C and 900 °C to produce sugarcane bagasse ash. After grinding, shells powders and sugarcane bagasse ash were used to replace the 32.5N and 42.5N cement Portland at 5, 10 and 15% by weight.

The mortar with 5% *Anadara granosa* and 5% *Polynices mammilla* showed higher compressive strength after 28 days. Cement is also replaced by SBA at 5, 10 and 15%, and a high compressive strength was found at 5% replacement. The 42.5N cement is replaced by association of SS and SBA, and after 28 days the results showed that the replacement cement at 8% by association of 5% SS and 3% SBA indicates better compressive strength compared to other replacements, but lower than the control mortar.

The 32.5N cement was replaced by SS, and the higher compressive strength was achieved for mix that the 32.5N cement replaced by 5% *Anadara granosa* and 5% *Polynices mammilla* shell after 7 and 28 days. The replacement up to 10% showed good performance of flexural strength. In general, the two types of seashells (*Anadara granosa* and *Polynices mammilla*) can be used to replace cements in mortar up to 5% for cement 42.5 MPa and 10% for cement 32.5 MPa. The association of seashells + SBA can replace cement 32.5N up to 13%.

Keywords: seashells, sugarcane bagasse ash, cement, mortar.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA.....	iii
DECLARAÇÃO DE HONRA	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos	3
1.1.1. Objectivo geral	3
1.1.2. Objectivos específicos	3
1.2. Justificativa do Estudo	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Conchas marinhas	7
2.1.1. Composição química dos resíduos de conchas marinhas	10
2.1.2. Efeito das conchas marinhas nas propriedades mecânicas de massas de cimento	11
2.1.3. Análise termogravimétrica das conchas marinhas.....	15
2.1.4. Caracterização das conchas marinhas por fluorescência de raios X (XRF) ..	16

2.2.	Efeito das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) nas propriedades mecânicas de massas de cimento.....	16
3.	PARTE EXPERIMENTAL.....	19
3.1.	Seleção e caracterização das conchas marinhas.....	19
3.2.	Tratamento e caracterização do bagaço da cana-de-açúcar e cinzas do bagaço de cana proveniente da indústria.....	20
3.3.	Agregado fino	21
3.4.	Preparação de argamassas e dos provetes.....	22
4.	RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO	25
4.1.	Análise Termogravimétrica (TGA).....	25
4.2.	Caracterização por fluorescência de raios –X (XRF)	26
4.3.	Análise mineralógica dos resíduos de conchas	29
4.4.	Ensaio de resistência à compressão e flexão de argamassas	32
4.4.1.	Resistência à compressão (RC) de argamassas na substituição do cimento 42,5N por CBCI, CBCL e pó de conchas	32
4.4.2.	Resistência à compressão e flexão de argamassas na substituição do cimento 32,5N por pó de conchas	37
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	40
5.1.	Conclusões	40
	ANEXOS	a

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Percentagem de produção dos produtos da aquacultura no mundo	8
Figura 2: Ilustração de Maputo, Capital de Moçambique, e o bairro dos pescadores e de Luís Cabral e outras partes importantes ao longo da baía de Maputo.	9
Figura 3: Concha Polynices Mammilla, exemplo de gastrópodes marinhos.	9
Figura 4: (a) Concha Anadara granosa e (b) Concha Ennucula Uruguayensis, exemplos da classe bivalve.	10
Figura 5: Tratamento de RCM até a obtenção do pó fino: (a) secagem a temperatura ambiente, (b) calcinação a 1100 °C, (c) depois da moagem e (d) peneiração	19
Figura 6: Cinzas do bagaço de cana depois da calcinação	20
Figura 7: Agregado fino dividido em classes.	21
Figura 8: Moldagem dos provetes no laboratório da empresa Trans Aly: (a) sacos plásticos com a mistura, (b) moldagem dos provetes e (c) tanque de cura	24
Figura 9: Moldagem dos provetes e depois da desmoldagem das argamassas	24
Figura 10: Curvas de TGA/DTG do AG com finura <0.08 mm.	25
Figura 11: Curvas de TGA/DTG do PM com finura <0.08mm.	25
Figura 12: Curvas de TGA/DTG do EU com finura <0.08mm.	26
Figura 13: Difratoograma da concha PM	30
Figura 14: Difratoograma da concha AG	30
Figura 15: Difratoograma da concha EU	31
Figura 16: Resistência à compressão de argamassas com adição de resíduos de conchas e cinzas do bagaço de cana, após 28 dias de cura	32

Figura 17: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do AG e CBCI, após 7 e 28 dias de cura.	33
Figura 18: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do PM e CBCI, após 7 e 28 dias de cura	33
Figura 19: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do PM e CBCI, após 7 e 28 dias de cura	34
Figura 20: Resistência à compressão de todas misturas de argamassas, após 7 dias de cura.	35
Figura 21: Resistência à compressão de todas misturas de argamassas, após 28 dias de cura.	35
Figura 22: Resistência à compressão de argamassas, após 7 e 28 dias de cura.	37
Figura 23: Resistência à flexão de argamassas, após 7 e 28 dias de cura.	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição do cimento, calcário calcinado e da concha calcinada	11
Tabela 2: Composição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar.....	18
Tabela 3: Classes de areia usada na preparação das argamassas.....	21
Tabela 4: Misturas de argamassas e sua identificação.	23
Tabela 5: Resultados da análise da CBCI e CBCL por XRF.	27
Tabela 6: Resultados da análise de pó de conchas AG, EU e PM por XRF.....	28
Tabela 7: Resultados da análise do Cimento Dugongo 42.5N e 32.5N por XRF.	29
Tabela 8: Resultados da análise por XRD de resíduos de conchas e cinzas do bagaço de cana.	31

ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS

Tabela 9: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por CBCL calcinada a 900 °C por 2 horas	b
Tabela 10: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por CBCI calcinada a 900 °C por 2 horas	b
Tabela 11: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5N por resíduo de concha polynices mammilla (PM) calcinada a 1100 °C por 3 horas.	b
Tabela 12: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por resíduo de concha anadara granosa (AG).....	c
Tabela 13: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por resíduo de concha ennucla uruguayensis (EU).....	c
Tabela 14: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e PM	c
Tabela 15: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e AG	d
Tabela 16: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e EU	d
Tabela 17: Resistência à compressão de argamassas com a substituição do cimento 42.5N por resíduos de conchas, após 28 dias de cura	e
Tabela 18: Resistência à compressão de argamassas com a substituição do cimento 42.5N por CBCI e CBCL, após 28 dias de cura.....	e
Tabela 19: Resistência à compressão e flexão de argamassas de 100% cimento 32.5N, após 7 e 28 dias de cura	f
Tabela 20: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do cimento 32.5N por EU, após 7 e 28 dias de cura.....	f

Tabela 21: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do cimento 32.5N por EU, após 7 e 28 dias de cura..... g

Tabela 22: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do cimento 32.5N por PM, após 7 e 28 dias de cura g

Tabela 23: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do cimento 32.5N por PM, após 7 e 28 dias de cura h

Tabela 24: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do CM32.5N por AG, após 7 e 28 dias de cura..... h

Tabela 25: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do CM32.5N por AG, após 7 e 28 dias de cura..... i

LISTA DE ABREVIATURAS

AG- *Resíduo de conchas marinhas anadara granosa*

CBC- *Cinza bagaço da cana-de-açúcar*

CBCI- *Cinza do bagaço de cana proveniente da Açucareira de Xinavane*

CBCL- *Cinza bagaço da cana-de-açúcar produzida no laboratório*

EU- *Resíduo de conchas marinhas ennucula uruguayensis*

PM- *Resíduo de conchas marinhas polynices mammilla*

RC- *Resistência à compressão*

RF- *Resistência à flexão*

TGA- *Aanalise térmica gravimétrica*

UEM- *Universidade Eduardo Mondlane*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Chuan (2014), a argamassa é uma pasta usada na construção civil, formada pela mistura do cimento Portland, areia e água. Para a produção de argamassas com elevados teores de resistências mecânicas, durabilidade e densidade superior, o cimento Portland e areia são normalmente misturados numa proporção de 1:3 de volume. Conforme a norma ASTM C270-10 (2010) as argamassas são classificadas em quatro tipos (M, S, N e O), e cada tipo com a sua aplicação. Os tipos de argamassas são diferenciados pelos valores da resistência à compressão (2500; 1800; 750 e 350 MPa, respectivamente) aos 28 dias.

A constante utilização da argamassa na construção civil faz com que seja necessário o desenvolvimento de estudos que visam aumentar as resistências mecânicas das argamassas (Chuan, 2014).

Estudos anteriores mostraram que a substituição parcial do cimento por materiais com propriedades pozolânicas, tais como, a casca de arroz, sabugo de milho, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e outros materiais, produzem concretos e argamassas com altos valores de resistências mecânicas e são resistentes à degradação por sulfatos (Chuan, 2014; Eziefula *et al.*, 2018). Os materiais com propriedades pozolânicas apresentam uma combinação dos teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ acima de 70% (Berenguer *et al.*, 2018; Câmara *et al.*, 2016; Chuan, 2014).

Neste estudo, foram avaliadas argamassas produzidas com substituição parcial do cimento 42.5N e 32.5N por pó de conchas *Polynices Mammilla*, *Ennucula Uruguayensis* e *Anadara granosa* e CBC. O efeito das conchas em argamassas foi avaliado pela medição da resistência à compressão e à flexão. A adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em argamassas contendo resíduos de conchas teve por objectivo aumentar as propriedades mecânicas de argamassas.

As conchas de vários moluscos como ostras, caracol, berbigão, anadara granosa, mexilhão, escalope, etc., são abundantes ao longo da costa Moçambicana (Nassongole *et al.*, 2016). Segundo Collin *et al.* (2008) nos últimos anos verifica-se um aumento das actividades de exploração de conchas em África.

Em Moçambique, a população que vive na zona costeira pratica a pesca de recolha de moluscos, como gastrópodes e bivalves, tanto para a sua subsistência alimentar e assim como para a sua renda (MMAIP, 2017). Segundo dados do MMAIP (2017) de 2009 a 2016 Moçambique exportou mais de 100 toneladas de conchas secas. A sobre-exploração destes

recursos leva a intensificação da pesca de recolha de moluscos e isso pode gerar grandes quantidades de resíduos de conchas. Contudo, em Moçambique a fauna de invertebrados é ainda pouco conhecida e a maior parte dos estudos sobre conchas foram realizadas nas províncias de Cabo Delgado e Maputo (Collin *et al.*, 2008; Nassongole *et al.*, 2016). Ainda não é conhecida a quantidade total de resíduos de conchas que é gerada em Moçambique.

Segundo Bamigboye *et al.* (2020) & Chuan (2014), os resíduos de conchas marinhas apresentam uma composição química comparável à do calcário usado na produção do cimento Portland. As conchas contêm cerca de 90 a 99% de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Bamigboye *et al.*, 2020; Chuan, 2014; Hart, 2020; Lertwattanakruk *et al.*, 2012; Olivia *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019). A quantidade de CaCO_3 é bastante elevada, mas o CaO resultante da calcinação entre 500-1100 °C é o mais importante porque tende a aumentar o desenvolvimento das resistências mecânicas e a densidade dos materiais (Olivia *et al.*, 2017). O resíduo de conchas calcinado apresenta em média uma composição de óxido de cálcio (CaO) variando entre 48 a 86 % dependendo do tipo de concha e da quantidade CaCO_3 presente (Mo *et al.*, 2018; Olivia *et al.*, 2017; Wan Mohammad *et al.*, 2017).

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

- ✚ Avaliar as argamassas produzidas com substituição parcial do cimento 42.5N e 32.5N por resíduos de conchas *Polynices mammilla*, *Ennucula uruguayensis*, *Anadara granosa* e cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

1.1.2. Objectivos específicos

- ✚ Caracterizar o pó de conchas marinhas por difracção de raios- X (XRD), análise térmica (TGA/DTA) e por fluorescência de raios-X (XRF);
- ✚ Caracterizar o cimento portland 42.5N e 32.5N, cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) por XRF;
- ✚ Substituir parcialmente de 0, 5, 10 e 15% o cimento portland 42.5N e 32.5N por pó de conchas e CBC;
- ✚ Produzir argamassas por substituição parcial de 0, 8, 10, 13 e 15% do cimento portland 42.5N por associação de pó de conchas e cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC);
- ✚ Determinar as resistências à compressão e flexão das argamassas em estudo.

1.2. Justificativa do Estudo

O cimento desempenha um papel importante na Engenharia Civil, especialmente na construção em Moçambique. A cada ano a produção de cimento aumenta no mundo, sendo que de 2010 a 2016 houve um aumento de 890 milhões de toneladas e até 2020 esperava-se um aumento de 4.4 biliões de toneladas (TERI, 2017). O aumento constante na produção do cimento é motivado pelo aumento da demanda por construções, que estimulam o desenvolvimento socioeconómico das comunidades (TERI, 2017). O cimento é produzido por mais de 150 países no mundo (TERI, 2017).

Estima-se que para cada tonelada de clínquer são produzidos cerca de uma tonelada de CO₂ (Shakouri *et al.*, 2020). A indústria de cimento é responsável pela emissão de 5 a 7% de CO₂ no mundo e esta envolvida na emissão de cerca de 18% de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas (Carvalho *et al.*, 2020; Costa & Ribeiro, 2020; Murugesan *et al.*, 2020; Shakouri *et al.*, 2020; Khalil *et al.*, 2020).

Cerca de 50 % dos gases emitidos na indústria de cimento encontram-se relacionadas com a actividade de produção do cimento, 40% de emissões relacionadas com a etapa da combustão da matéria-prima e 5 a 10% relacionada com o uso da corrente eléctrica (Khalil *et al.*, 2020). Encontra-se o CO₂ como maior contribuinte dos gases de estufa. Além disso têm-se usado combustíveis que emitem óxidos de enxofre (SO₂, SO₃-SO_x), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogénio (NO) e muitos outros compostos que são importantes poluentes ambientais (Nathan, 2018). E durante a extração da matéria-prima verifica-se o distúrbio na biodiversidade, a ocorrência da erosão nas zonas de extracção, e a contaminação dos cursos de água (Bamigboye *et al.*, 2020; Eziefula *et al.*, 2018; Khalil *et al.*, 2020).

O constante aumento dos preços do cimento no mercado é devido ao consumo de grandes quantidades de energia eléctrica na produção de cimento (cerca de 100-110 kW h/tonelada de cimento), gastos elevados na aquisição da matéria-prima (agregados, calcário, bauxita e ou materiais argilosos) (Hart, 2020; Khalil *et al.*, 2020; TERI, 2017). Por isso que nos últimos anos investigadores estudam a possibilidade da utilização de resíduos gerados em actividades pesqueiras, agrícolas e industriais na substituição parcial do cimento em concreto e argamassas, como forma de reaproveitar estes materiais e ajudar na redução dos preços (Eziefula *et al.*, 2018; Murugesan *et al.*, 2020; Safi *et al.*, 2015).

As conchas marinhas são um subproduto da indústria pesqueira (Eziefula *et al.*, 2018). Além da indústria pesqueira, as comunidades de pescadores artesanais ao se beneficiarem do

pescado para o consumo próprio e comercialização eliminam os seus resíduos de forma inapropriada. Um exemplo é o descarte de conchas moluscos bivalves após sofrerem o processo de desconchamento ao longo da praia do costa do sol. Quando descartados em lixeiras podem atrair o surgimento de animais e insectos transmissores de doenças. E isso pode afectar negativamente a qualidade de vida das pessoas que vivem em regiões próximas aos depósitos (Jović *et al.*, 2019; Mo *et al.*, 2018). A geração de resíduos de conchas ocorre devido à falta de reconhecimento destes recursos como matéria-prima e fonte para a produção de outros produtos (Silva, 2017).

A sílica presente nas cinzas é requerida no estado amorfo para facilitar a reacção com hidróxido de cálcio e a formação de silicatos cálcio hidratados, importantes no aumento das propriedades mecânicas da pasta de cimento, argamassas e concretos. A sílica amorfa (cerca 55 a 78%) é o maior componente químico nas cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), por isso, a CBC apresenta excelentes propriedades pozolânicas (Berenguer *et al.*, 2018; Khalil *et al.*, 2020). O bagaço da cana-de-açúcar é queimado entre 400 – 800 °C para a obtenção da cinza com excelentes propriedades pozolânicas (Berenguer *et al.*, 2018; Khalil *et al.*, 2020; Torres Agredo *et al.*, 2014).

A CBC pode ser usada na substituição parcial do cimento em argamassas e concreto. A utilização da CBC na substituição parcial do cimento apresenta grande importância na redução da emissão de CO₂ durante o processo de obtenção do clíquer (entre 800 a 1450 °C) na produção do cimento Portland. Contudo, o uso da CBC promove a aceleração da hidratação nas primeiras idades e maiores resistências à compressão ao longo do tempo, reduzindo o custo do cimento, concreto e argamassas e promove maior durabilidade dos materiais cimentícios e reduzindo os impactos ambientais causados pela exploração das rochas, pela eliminação do resíduo através do solo e em outras áreas (Câmara *et al.*, 2016; Berenguer *et al.*, 2018; Varma & Gadling, 2016). A CBC também possui um elevado poder calorífico, cerca de 8000 kJ/kg do que os restantes resíduos agroindustriais usados na substituição parcial do cimento (Torres Agredo *et al.*, 2014). Comparando as propriedades químicas da CBC, cinza do sabugo do milho, cinza da casca de arroz e de outros materiais, a CBC contém mais de 15% do dióxido de silício (Khalil *et al.*, 2020).

Moçambique conta actualmente com quatro (4) fábricas de produção de açúcar, nomeadamente; Açucareira de Maragra, Açucareira de Xinavane, Açucareira de Moçambique e Companhia de Sena e com mais de 40.000 hectares já plantados (RECP,

2017; Sutton, 2014; Namburete, 2014). O bagaço é a matéria residual resultante do processo de moagem da cana, e para cada 3 meses são produzidos entre 21,477.98 a 49,848.47 toneladas do bagaço (Rungo, 2021). Algumas fábricas Moçambicanas usam o bagaço na produção de energia e outras depositam o bagaço em lixeiras a céu-aberto, sem qualquer aproveitamento (Namburete, 2014). Entretanto as cinzas resultantes da combustão do bagaço são descartadas sem nenhum aproveitamento. Dado ao seu elevado potencial pozolânico podem ser aproveitadas na substituição parcial do cimento em argamassas e concreto.

A utilização desses materiais não se resume apenas em aumentar os teores das resistências mecânicas, mas também reduzir a sua demanda em lixeiras e em outros locais. E com isso, ajudar na redução da pressão provocada pela grande procura do cimento, auxiliar na redução de custos de produção e consequentemente contribuir para a redução do preço do cimento. Por outro lado, a utilização destes materiais contribuiria para a redução de emissões atmosféricas resultantes da produção de cimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Conchas marinhas

As conchas marinhas são animais de corpo mole, pertencentes ao filo molusco com simetria bilateral, triblásticos (têm três folhetos germinativos), possuem uma verdadeira cavidade celômica, podem ter de poucos milímetros até vários metros, 0,3mm a 20m de comprimento (Albuquerque, 2016; Pyron & Brown, 2015). A concha esta presente em ostras, mariscos, caracol, e em alguns casos na lula.

Os moluscos são animais que apresentam o corpo dividido em:

- ❖ **Cabeça**- onde são encontrados todos órgãos dos sentidos;
- ❖ **Pé**- é responsável pelos movimentos; e
- ❖ **Massa visceral**- onde são encontrados todos órgãos.

A maioria dos moluscos apresentam uma concha de calcário, com grande variedade de cores, formas e tamanhos. Normalmente a concha é externa, mas por vezes pode ser interna. Existem 8 classes (Caudofoveata, Solenogastres, Monoplacophora Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Scaphopoda e Cephalopoda) do filo molusco, com mais de 100000 espécies descritas e com outras espécies a serem descritas, constituindo o segundo maior filo animal depois dos artrópodes (Pyron & Brown, 2015). Em geral os moluscos são divididos em três (3) classes principais; *gastrópodes*, *bivalves* e *cefalópodes*.

Todas as classes do filo molusco estão presentes no meio marinho. Os moluscos estão adaptados a todos tipos de ambientes, terrestres e aquáticos, distribuem-se num gradiente latitudinal amplo em todos os oceanos (Albuquerque, 2016; Pyron & Brown, 2015).

Os moluscos bivalves e gastrópodes são conchas frequentemente usadas na substituição parcial do cimento em argamassas e concreto. Anualmente são produzidas cerca de 16 milhões de toneladas de conchas, representando um total de 22% dos produtos da aquacultura no mundo. Cerca de 87% dos moluscos da aquacultura são moluscos bivalves que compreendem 33% *polymesoda expansa* (amêijoas, clams em inglês) incluindo a *anadara granosa* (amêijoas berbigões, cockles em inglês), 31.3% de ostras, 12.1% de mexilhões (mussels) e 11% da concha pécten e vieira (scallops), como ilustra a Figura 1 a seguir (Eziefula *et al.*, 2018).

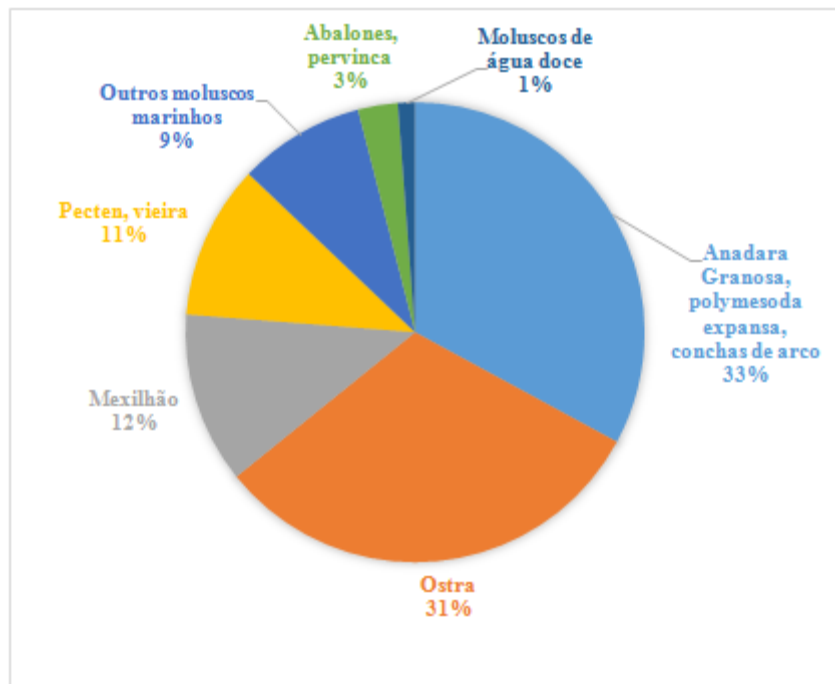


Figura 1: Percentagem de produção dos produtos da aquacultura no mundo

Fonte: (Eziefula *et al.*, 2018)

As conchas *Polynices Mammilla* (PM), *Ennucula Uruguayensis* (EU) e *Anadara Granosa* (AG) são abundantes na Baía de Maputo. Regularmente as pessoas colectam as conchas para sua dieta alimentar e comercialização. No geral as conchas são colectadas pela população residente no Bairro dos Pescadores e Bairro Luís Cabral, e são comercializadas nos diferentes mercados ao longo da costa (Mercado Central, Marítimo e Costa do Sol), como ilustra a Figura 2. Estudos relatam que em Moçambique o número dos colectores de conchas vem crescendo nos últimos anos, e a pesca artesanal distribui-se por toda a extensão da linha da costa, sendo o peixe, camarão e moluscos os principais recursos explorados (Collin *et al.*, 2008).

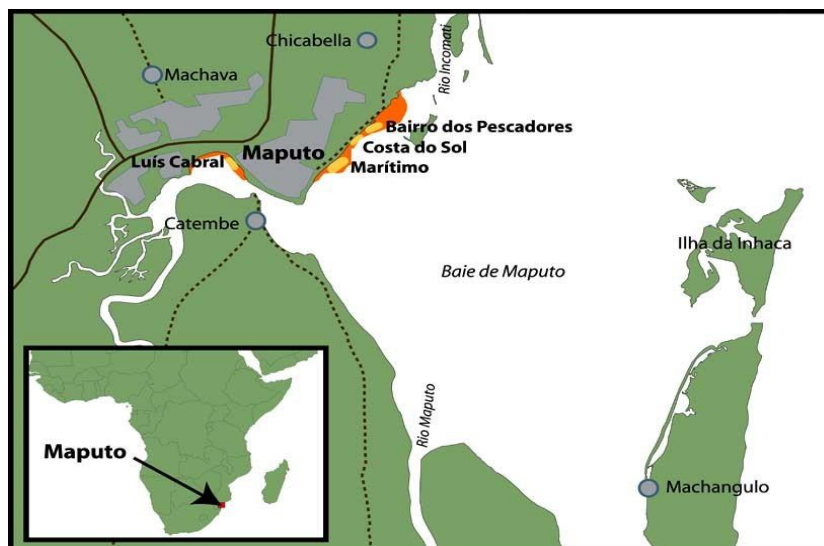


Figura 2: Ilustração de Maputo, Capital de Moçambique, e o bairro dos Pescadores e de Luís Cabral e outras partes importantes ao longo da baía de Maputo.

Fonte: (Collin *et al.*, 2008)

A espécie *Polynices Mammilla* (Figura 3) pertence ao filo molusco, classe gastrópode, família naticidae e ordem littorinimorpha. A classe Gastrópode é uma das mais diversas nos animais, tanto na forma e como no habitat, sendo um grupo com grande variedade estrutural e ecológica. Compreende cerca de 80% dos moluscos vivos. É o maior grupo de moluscos e com mais espécies descritas (Pereira & Gonçalves, 2000). Estão presentes em todos os habitats marinhos. Podem ter tamanhos de 0.3 mm a 1 m, e a maioria dos gastrópodes apresentam uma concha univalve achatada ou espiralada (Albuquerque, 2016; Pyron & Brown, 2015). São também exemplos de gastrópodes os caracóis, caramujos e lesmas.



Figura 3: Concha *Polynices Mammilla*, exemplo de gastrópodes marinhos.

A classe bivalve engloba todos moluscos com duas conchas articuladas e unidas por um ligamento, e são o segundo grupo mais diversificado de moluscos. Existem cerca de 1200 espécies de tamanho entre 1 mm e 1,35 m (Albuquerque, 2016). Por serem filtradores são

organismos importantes na maioria dos ecossistemas marinhos e de água doce (Albuquerque, 2016; Kilburn, 1983). São exemplos de bivalves os mariscos, ostras e vieiras.

A concha *Anadara granosa* (Figura 4a) é gênero dos moluscos bivalves, da família Arcidae e ordem Arcoida. Existem cerca de 200 espécies de variadas formas e tamanhos. São facilmente reconhecidos por sua forma de barco e por seu músculo claro no seu interior. Tendem a ser brancos por dentro com algo escuro. A concha *Ennucula Uruguayensis* (Figura 4b) é uma espécie dos moluscos bivalves, família Nuculidae, ordem Nuculida.

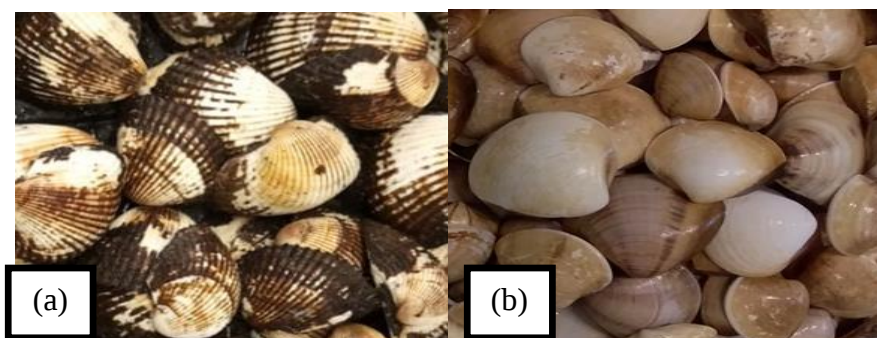


Figura 4: (a) Concha *Anadara granosa* e (b) Concha *Ennucula Uruguayensis*, exemplos da classe bivalve.

Os cefalópodes não apresentam concha ou esta é interna, e são exemplos o polvo, a lula e o náutilos.

2.1.1. Composição química dos resíduos de conchas marinhas

As conchas marinhas são formadas por biomineralização e apresentam teores elevados de CaCO_3 e uma pequena quantidade de matéria orgânica, íons cloretos (0,01%-0,02%) e sulfatos (0,06%-0,43%) (Lertwattanakul *et al.*, 2012). Muitas conchas contêm entre 95-97% de CaCO_3 e uma fase mineralógica de calcita (Mo *et al.*, 2018). A matéria orgânica influencia negativamente no processo de hidratação entre o agregado e matriz do material, e algumas vezes reduz a durabilidade do agregado. O excesso de cloretos acelera a corrosão de argamassas e concreto. A lavagem e a calcinação das conchas reduz os teores de cloretos, sulfatos e matéria orgânica presente nas conchas (Eziefula *et al.*, 2018).

A determinação quantitativa da composição elementar dos resíduos de concha é feita usando a fluorescência de raios X (XRF) e a difração de raios X (XRD) para a determinação dos componentes e das fases minerais (Tayeh *et al.*, 2020).

Já foi reportado que o pó de conchas quando submetido a análises termogravimétricas (TGA) a 200 °C observa-se uma perda de massa de 0.4%, resultante da remoção da água absorvida, e entre 200 °C a 356 °C ocorre uma perda de massa de aproximadamente 1.7%, causada pela oxidação e remoção da matéria volátil, e entre 356 °C a 600 °C a perda de massa aumenta para 2.3% e entre 600 °C a 850 °C a perda de massa aumenta drasticamente para 43.3% e é atribuída a conversão do CaCO_3 em CaO na concha. Em geral estudos relatam que a calcinação do resíduo de concha a temperaturas maiores que 600 °C resulta no pó de concha com elevado teor de CaO (Mo *et al.*, 2018). A Tabela 1 ilustra a composição do cimento, calcário calcinado e das conchas calcinadas. De acordo com a Tabela 1 a quantidade de CaO encontrada nas conchas é suficiente para a formação de silicatos e aluminatos de cálcio, pois a deficiência de CaO reduz as resistências mecânicas do cimento (Wan Mohammad *et al.*, 2017).

Tabela 1: Composição do cimento, calcário calcinado e da concha calcinada

Composição	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO
Calcário	53.1	4.3	0.7	0.3	0.01	0.03	0.13	0.3
Concha	67.7	0.3	0.3	0.02	0.14	0.6	0.01	0.01
Cimento Portland	65.5	21.2	5.5	3.3	1.9	0.5	1.7	2.0

Fonte: (Safi *et al.*, 2015; Wan Mohammad *et al.*, 2017).

2.1.2. Efeito das conchas marinhas nas propriedades mecânicas de massas de cimento

Ammari *et al.* (2017) avaliou o efeito do pó de conchas na resistência à compressão de argamassas em substituição parcial da areia, e obteve, 16.66, 16.71, 16.75 e 17.07 MPa nas substituições de 29%, 14%, 4% e 0%, respectivamente aos 28 dias. Ainda neste estudo verificou-se o aumento a resistência á flexão quanto maior a percentagem de substituição da areia por pó de concha. Lertwattanakul *et al.* (2012) utilizou os resíduos de quatro tipos de conchas (*Anadara granosa*, mexilhão verde, ostras e concha de molusco curto beijado) na substituição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% do cimento em argamassas, para o melhoramento da resistência á compressão e da plasticidade. Neste estudo, verificou-se que o aumento de resíduo de conchas diminuí a RC. Os autores afirmam que a diminuição da RC é devido à baixa reactividade do material com a concha, devido ao menor tamanho das partículas do resíduo de conchas comparado ao cimento.

Safi *et al.* (2015) utilizou as ostras na substituição de 0%, 10%, 20%, 50% e 100% da areia em argamassas. Neste estudo verificou-se que a substituição da areia por resíduos de conchas causa a redução das resistências. E as substituições de 10% e 20% apresentaram melhores resultados de RC, flexão e do módulo de elasticidade. No estudo do Safi *et al.* (2015) os valores das resistências estiveram na ordem dos 71 MPa e 61 MPa nas substituições de 10% e 100%. Em geral os melhores resultados do estudo foram observados nos 28 dias de cura. A redução dos valores das resistências é atribuída a baixa reactividade dos materiais, causada pela forma angular ou irregular das conchas, com uma grande importância na composição da argamassa. Apesar do seu decréscimo, os valores das resistências obtidos neste estudo em todas substituições são aceitáveis para o uso desta argamassa na construção civil.

Seo *et al.* (2019) estudou o uso do resíduo da ostra calcinada na substituição parcial do cimento em argamassas. Neste estudo a ostra foi triturada e calcinada no forno eléctrico a 1000 °C por 3 horas. Os resultados da RC obtidos na incorporação do pó da ostra calcinada a 0%, 3%, 6%, 9% e 12% em 56 dias de cura foram 53.7 MPa, 57.5 MPa, 52.3 MPa, 51.0 MPa e 42 MPa, respectivamente. Os resultados deste estudo mostram que no limite de substituição menor que 9% o pó da ostra calcinada aumenta a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas da argamassa produzida. A substituição acima de 9% afecta negativamente as propriedades mecânicas das argamassas. Suarez-Riera *et al.* (2020) estudou as propriedades mecânicas da argamassa contendo agregados da concha marinha (*Acanthocardia tuberculata*) em substituição parcial. O rácio de água/cimento das misturas preparadas neste estudo foi de 0.50, e 1:3 para cimento/agregado.

No estudo do Suarez-Riera *et al.* (2020) preparou-se 4 tipos de argamassas em percentagens de substituição do agregado por conchas (0%, 5%, 10% e 15%). Os resultados mostram uma redução de 7%, 22% e 10% da resistência à flexão, nas substituições de 5%, 10% e 15% respectivamente. E na RC verificou-se uma ligeira diminuição de 1% e 6% nas substituições de 5% e 15%, respectivamente. Os resultados deste estudo demonstraram que a redução da resistência à flexão se deve principalmente às propriedades de absorção da água pelas conchas, o que afecta a hidratação do cimento.

Foi reportada no estudo do Nguyen *et al.* (2013) que as propriedades mecânicas também são influenciadas pela granulometria entre a concha e agregados. Wang & Liu (2020) preparou misturas de 0%, 5%, 10%, 20% e 40% em substituição parcial do cimento por conchas em argamassas, e verificou-se o decréscimo da RC quando se aumentava o pó de concha na

mistura. O rácio concha/cimento foi de 0.40 e a adição de 5% do pó de concha apresentou resistências mecânicas comparadas a massa de 100% do cimento. Relatam ainda Wang & Liu. (2020) que o aumento efectivo do rácio água/cimento influencia negativamente nas resistências mecânicas, portanto a adição da água em massas de cimento contendo conchas deve ser minuciosamente ajustada. Rollakanti *et al.* (2020) investigou as propriedades mecânicas do concreto com cinzas de madeira e pó de conchas em substituição parcial do cimento. E preparou-se 4 misturas de concreto: a primeira mistura (M1) com 100% do cimento, a segunda (M2) com 95% do cimento + 2.5% da cinza da madeira + 2.5% do pó de concha, a terceira (M3) com 90% do cimento + 5% da cinza da madeira + 5% do pó de concha e a quarta (M4) com 85% do cimento + 7.5% da cinza da madeira + 7.5% do pó de concha. E aos 28 dias verificou-se um aumento da resistência á compressão nas misturas M2, M3 e M4 (32.54, 33.69 e 31.17 MPa, respectivamente) em comparação com a mistura 29.23MPa de M1. A resistência á flexão mostrou 4.36 MPa, 4.52 MPa, 4.69 MPa e 4.48 MPa para M1, M2, M3 e M4, respectivamente.

Olivia *et al.* (2015) utilizou a concha *anadara granosa* (*Blood clam/ cockle*), para estudar as propriedades mecânicas do concreto de conchas. Neste estudo substitui-se em 2%, 4%, 6% e 8% de cimento 32.5N por resíduo da concha. E obteve-se aos 28 dias uma resistência á compressão de 30.84MPa, 32.24MPa, 28.86MPa e 30.56MPa, respectivamente. E a mistura de 4% apresentou maior valor da resistência, mas ligeiramente inferior a mistura do concreto de 100% do cimento (37MPa). A redução da resistência á compressão das misturas em relação a mistura de controlo é atribuída a existência de pouca quantidade de CaO no resíduo de concha (51.56%) comparado ao cimento (65.15%), que provoca uma lenta hidratação do processo. A resistência á flexão mostrou valores superiores nas misturas do que a massa controlo. Olivia *et al.* (2017) investigou as propriedades do concreto contendo concha *anadara granosa* (*Blood clam/cockle*) e concha *polymesoda expansa* (*marsch clam*). Para avaliar as propriedades mecânicas substitui-se o cimento por 4% das conchas e verificou-se que a mistura do concreto com 96% cimento + 4% da concha *polymesoda expansa* apresentou elevada resistência á compressão aos 28 dias comparativamente a mistura de 100% do cimento e da mistura de 96% cimento+4% da concha *anadara granosa*. Este resultado confirma que se pode obter diferentes resultados das resistências mecânicas de acordo com o tipo da concha usada e da quantidade do CaO presente.

Panda *et al.* (2020) estudou o efeito da cinza da casca de arroz nas propriedades mecânicas do concreto contendo resíduo de conchas em substituição parcial do agregado fino. No

estudo desses autores substituiu-se em 0, 10, 20 e 30% do agregado fino por resíduo de conchas e substituiu-se 0, 10 e 20 o cimento por cinza da casca de arroz. A substituição acima de 20% do agregado fino por concha provoca o decréscimo das resistências mecânicas em todas substituições, e este fenómeno é atribuído à elevada capacidade de absorção da água pela concha do que o agregado natural, e a parte heterogénea da água absorvida provoca o enfraquecimento da mistura entre a pasta de cimento e agregados. A combinação do resíduo de conchas e cinza da casca de arroz apresentou valores elevados de resistências mecânicas na substituição de 10% da areia por concha e substituição de 20% do cimento por cinza da casca de arroz. A substituição do cimento pela cinza da casca de arroz aumenta as resistências mecânicas do concreto em todas misturas. Estes autores afirmam ainda que o aumento das resistências mecânicas depende do rácio de hidratação do cimento e da reacção entre a sílica presente na cinza da casca de arroz e Ca(OH)_2 .

Bouasria *et al.* (2021) substitui o cimento pela associação de ligas de ferro níquel (FNS) e resíduos de cocha *crepidula fornicata* (CCF). Primeiramente substituiu-se o cimento pela FNS em 0, 10, 15 e 30%, em seguida substituiu-se em simultâneo o cimento por 5% de FNS+5% de CCF, 10% de FNS+10% de CCF, 15 % de FNS+15% de CCF, 20% de FNS+20% de CCF e 30% de FNS+30% de CCF. E obteve-se aos 28 dias uma RC de 56.67 MPa na substituição de 0%, 54.46 MPa na substituição de 10%, 51.36 MPa na substituição de 15% e 42.61 MPa na substituição de 30% para cimento CEM I 52.5 N. Obteve-se ainda uma RC de 53.76 MPa na substituição de 5% de FNS+5% de CCF, 51.99 em 10% de FNS+10% de CCF, 40.22 MPa em 15% de FNS+15% de CCF, 32.9 MPa em 20% de FNS+20% de CCF e 17.32 MPa na substituição de 30% de FNS+30% de CCF. Verificou-se ainda aos 28 dias uma resistência á flexão de 7.95 MPa na substituição de 0%, 8.27 MPa na substituição de 10%, 7.52 MPa na substituição de 15% e 6.68 MPa na substituição de 30%. Uma resistência á flexão de 7.99 MPa na substituição de 5 % de FNS+5% de CCF, 7.92 em 10% de FNS+10% de CCF, 6.25 MPa em 15% de FNS+15% de CCF, 5.91 MPa em 20% de FNS+20% de CCF e 3.87 MPa na substituição de 30% de FNS+30% de CCF. A substituição até 10% mostrou resultados satisfatórios para o uso destas misturas na construção, entretanto a argamassa de 100% do cimento apresentou uma RC maior em comparação com as outras misturas.

2.1.3. Análise termogravimétrica das conchas marinhas

Bamigboye *et al.* (2020), fez um estudo termogravimétrico (TGA) do pó de conchas e verificou entre 200 °C a 356 °C a primeira perda de massa de 1.7%, que é resultante da evaporação da água absorvida pela concha e da oxidação e remoção de substâncias voláteis e o aumento da temperatura em até 900 °C a perda de massa atinge aproximadamente 48.83%, que é resultante da degradação do CaCO_3 em CaO e a liberação de CO_2 . Laskar *et al.* (2018) observou no *primeiro estágio* uma perda de massa de 5.03% entre 50 e 672.5 °C, no *segundo estágio* observou uma perda de massa de 43% entre 672.5 a 830 °C. Mo *et al.* (2018) onde a concha mexilhão foi submetida em TGA entre 356 e 600 °C resultou numa perda de massa de 4.4% e entre 600 e 850 °C com uma perda de massa de 43.3%. A perda de massa da concha *anadara granosa* aumenta substancialmente em torno de 43.53% entre 700 °C e 900 °C (Safi *et al.*, 2015). Wang *et al.* (2019) procedeu com TGA em ambiente de N_2 entre 25 °C à 1100 °C no rácio de 10 °C/min. Neste estudo observou-se que a decomposição da concha foi em torno de 580 °C a 780 °C, com perda de aproximadamente 42%.

E segundo Janković *et al.* (2020) a *primeira perda de massa* geralmente é caracterizado por menor perda de massa, indicando menores quantidades de proteínas, glicoproteínas e de polissacarídeos na concha. O *segundo estágio* entre 850 a 900 °C a perda de massa pode variar entre 37.09% a 41.08%. O *terceiro estágio* ocorre a temperaturas entre 900 a 1000 °C e pode prolongar-se ainda mais até uma outra temperatura final de reação dependendo do tipo de conchas. Este estágio é caracterizado por baixa percentagem de perda de massa, que depende da variação do tamanho das partículas da concha. O estágio III é provavelmente atribuído a sinterização das partículas de CaO .

As curvas de TGA de conchas descritas no estudo de Suarez-Riera *et al.* (2020) mostram uma primeira perda de massa em aproximadamente 150 °C, a segunda maior perda de massa (55%) observa-se em torno de 550 °C a 850 °C e a 1000 °C observa-se a deposição final do resíduo. Segundo Pecenó *et al.* (2021) a redução da massa de resíduos de conchas é, em *primeiro* lugar, devido à evaporação da água a aproximadamente 100 °C; em *segundo*, à transformação da aragonite em calcite, que ocorre em torno de 300 °C e 500 °C; e em *terceiro*, á decomposição endotérmica de carbonatos (CaCO_3 e MgCO_3) em CaO , MgO e CO_2 , que ocorre entre 600 °C e 800 °C.

2.1.4. Caracterização das conchas marinhas por fluorescência de raios X (XRF)

Os resíduos de conchas produzidos a temperaturas elevadas são ricos em CaO, variado entre 52-99% dependendo do tipo de concha, da composição de CaCO_3 presente na concha e da temperatura de queima adoptada (Tayeh *et al.*, 2020). A concha do mexilhão (mussel shell) foi calcinada a 1100 °C e obteve-se 87.2% de CaO (Mo *et al.*, 2018). No estudo do Tayeh *et al.* (2020) a concha foi calcinada a 1000 °C por 2 horas para a produção do pó de concha e obteve-se 97.8% de CaO. O pó das conchas *anadara granosa* e *polymesoda expansa* foi produzido a 600 °C e obteve-se 51.91% e 67.70% de CaO, 0.38% e 0.39% de SiO_2 , 0.65% e 0.28% de Al_2O_3 e 0.05% e 0.02% de Fe_2O_3 , respectivamente (Olivia *et al.*, 2017).

O tratamento da ostra a 500 °C por 2 horas numa taxa de 5 °C/min resulta num pó de concha com aproximadamente 74.73% de CaO, 0.30% de SiO_2 , 0.19% de Al_2O_3 e 0.10% de Fe_2O_3 (Djobo *et al.*, 2016). Ez-zaki *et al.* b(2018) comparou as temperaturas de calcinação entre 650 °C e 850 °C por 5 horas, e observou que a calcinação a 850 °C reduz a calcita e aumenta o teor do CaO. Seo *et al.* (2019) calcinou o pó de concha ostra a 1000 °C por 3 horas de tempo e obteve 98% de CaO, 0.20% de SiO_2 , 0.08% de Al_2O_3 e 0.10% de Fe_2O_3 . No geral todos os tipos de conchas, incluindo *anadara granosa* e *polymesoda expansa* apresentam a mesma composição quando for adoptada a mesma temperatura de queima (Mo *et al.*, 2018).

2.2. Efeito das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) nas propriedades mecânicas de massas de cimento

Para encontrar a percentagem de substituição óptima da CBC por cimento Berenguer *et al.* (2016, 2018) estudou a influência das CBC provenientes da pizzaria (queimadas a 400 °C) e da indústria (queimadas a 600 °C) em argamassas, com as duas cinzas fez substituições de 0 a 30% e verificou-se valores elevados de resistência á compressão de 29.1, 22.0 e 31.8 MPa para a CBC-pizzaria, e 31.2, 32.1 e 35.6 MPa para a CBCI nas substituições de 5, 10 e 15% respectivamente.

Khalil *et al.* (2020) utilizou a CBC na substituição parcial do cimento no concreto e fez substituições de 5 – 25% e observou valor elevado da RC na substituição de 10%. Outros estudos afirmam que a CBC pode ser usada para substituir parcialmente o cimento em até 20% (Torres Agredo *et al.* 2014). De Paula (2006) estudou a substituição de 0 - 30% do cimento por CBC em argamassas e verificou um aumento no valor da RC aos 28 dias de cura

em todas substituições, sendo que obteve maior valor na substituição de 10% (cerca de 47.50 MPa).

Marizane *et al.* (2020) comparou o efeito da CBC, cinza da casca de arroz e cinza do sabugo de milho nas propriedades mecânicas de argamassas. Neste estudo a CBC mostrou valores intermédios quando comparado a outras cinzas usadas. A substituição da CBC até 10% apresentou valores elevados da resistência á compressão, mas inferiores ao valor da argamassa controlo. Quedou *et al.* (2021) também verificou que a substituição do cimento por 10% da CBC demonstrou uma positiva performance e pode ser considerada sustentável em materiais cimentícios na indústria de construção.

Anjos *et al.* (2020) estudou as propriedades mecânicas da argamassa com volume elevado da CBC em substituição de 15%, 20%, 25% e 30% do cimento, e verificou-se baixas resistências á compressão e á flexão em todas idades comparado a argamassa controlo. E o decréscimo das resistências é devido a baixa ocorrência das reacções de hidratação. Todavia a argamassa com 20% da CBC apresentou uma boa performance em termos das resistências á compressão quando comparada com outras substituições.

Salimo *et al.* (2021) estudou a resistência á compressão da CBC proveniente da Açucareira de Xinavane em argamassas e observou que o uso de cimento 42.5N pode-se obter argamassas dentro dos limites admissíveis com adições em até 10%, e em até 15% nas CBC com granulometria de 0.08 mm e 0.16 mm. Neste estudo primeiramente removeu-se o material grosso na CBC, secou-se a 105 °C, e submeteu-se a moagem para a obtenção da cinza com granulometria variando entre <0.08 mm e <0.16 mm. Em seguida a CBC foi usada na produção de argamassas.

Akbar *et al.* (2020) estudou a o aumento das resistências mecânicas de argamassas da CBC com a incorporação das fibras do propileno e observou um aumento nas propriedades mecânicas em comparação com argamassas controlo em todas as idades. Neste estudo a CBC foi produzida na mufla no rácio de 10 °C/min a 900 °C por 2 horas de tempo e obteve-se uma CBC com 77.47% de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, superior do que 70% necessária para actividade pozolânica, e obteve-se apenas 66.7% de SiO_2 . Marizane *et al.* (2020) obteve entre 40-47.78% do material amorfo na CBC entre 550 e 700 °C, e na temperatura de 550 °C por 3 horas obteve-se um teor de 47,78% do material amorfo.

Em geral, a adicção do material pozolânico permite a sua reacção com o Ca(OH)_2 formando silicato de cálcio hidratado (C-S-H) como ilustra a reacção (6), responsável pelo aumento

das resistências mecânicas da pasta de cimento (Bouasria *et al.* 2021). A Tabela 2 ilustra a composição química da CBC encontrada em outros estudos. A Tabela mostra que a composição pode variar mediante a localização geográfica, as características naturais do solo, do nível de água do solo, etc. Quedou *et al.* (2021) afirma que, em geral a formação de maior quantidade da sílica amorfa na CBC é associado a temperatura de calcinação e no seu estudo calcinou a CBC a 140 °C durante 12 horas e obteve 58.94% de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, e com 30.27% de SiO_2 .

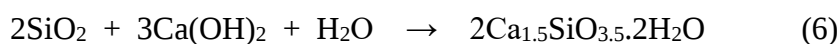


Tabela 2: Composição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Composição em óxidos (%)							
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MnO	K_2O	SO_3	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$
64 - 87	3.4 - 8.6	3.5 - 7	6.7 - 13	0.2	8.2	2.24	78.3 - 90

Fonte: (Athira *et al.*, 2020; Berenguer *et al.*, 2016; Khalil *et al.*, 2020; Quedou *et al.*, 2021).

3. PARTE EXPERIMENTAL

Para a concretização dos objectivos propostos neste estudo, fez-se o tratamento dos materiais e a sua caracterização no Laboratório de Materiais e no Laboratório Central do Departamento de Química da UEM. Os ensaios mecânicos foram realizados em dois laboratórios localizados na Matola, o laboratório de cimentos da empresa Trans Aly e no laboratório da empresa Cimentos de Moçambique.

3.1. Selecção e caracterização das conchas marinhas

O resíduo de conchas marinhas (RCM) usado neste estudo foi colectado na praia da Costa do Sol, Mercado do Peixe e Marítimo na Cidade de Maputo. O RCM foi encaminhado para o laboratório de materiais do Departamento de Química da UEM onde procedeu-se com o seu tratamento.

O resíduo de conchas foi lavado e submetido à secagem por 3 dias a temperatura ambiente e depois durante 24 horas na mufla a 105 °C. Em seguida procedeu-se com o estudo do comportamento térmico das conchas através do ensaio termogravimétrico. Para o estudo do comportamento térmico, as amostras foram colocadas num cadinho de alumina e aquecidas a uma faixa de temperatura entre 25 °C e 1100 °C, O RCM seco foi calcinado num forno eléctrico no intervalo de 800 °C - 1100 °C por 2 e 3 horas de tempo. Depois de arrefecido num exsiccador submeteu-se a moagem em moinho de bolas. Durante a moagem o pó de conchas resultante foi classificado numa granulometria variando de <0.16 mm e <0.08 mm. A Figura 5 a seguir ilustra o processo de tratamento do RCM.

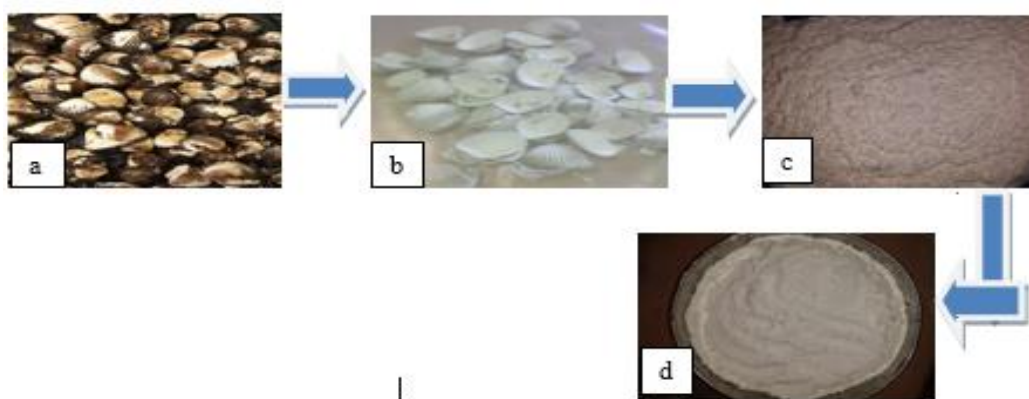


Figura 5: Tratamento de RCM até a obtenção do pó fino: (a) secagem a temperatura ambiente, (b) calcinação a 1100 °C, (c) depois da moagem e (d) peneiração

O ensaio termogravimétrico foi realizado em uma taxa de aquecimento de 10 °C por minuto sob fluxo contínuo de nitrogénio gasoso a uma pressão de 1.5 em 2 L/h, com uma vazão de 100 mL min⁻¹. A análise termogravimétrica foi realizada usando-se um equipamento de marca SDT-Q-600, módulo TGA/DSC, da TA Instruments, acoplado a um computador para o processamento dos dados.

Em seguida o pó de conchas foi caracterizado por XRF para a determinação da composição química e por XRD para a determinação das fases mineralógicas. A análise por XRF foi determinada no instrumento EDX-7000, em atmosfera de ar.

3.2. Tratamento e caracterização do bagaço da cana-de-açúcar e cinzas do bagaço de cana proveniente da indústria

O bagaço da cana-de-açúcar (BC) e a cinza de cana-de-açúcar industrial (CBCI) foram colhidos na Açucareira de Xinavane e transportados para o laboratório de materiais do Departamento de Química-UEM. Inicialmente o bagaço foi seco a temperatura ambiente durante 15 dias e submetido à queima num balde de alumínio, em seguida foi moído em moinho de bolas e classificado com granulometria variando de <0.16 mm e <0.08 mm. Depois foi calcinado num forno eléctrico a 550 °C e 900 °C durante 2 e 3 horas de tempo para a produção das cinzas (CBCL), como ilustra a Figura 6. À CBCI primeiramente removeu-se o material grosso e secou-se à temperatura ambiente e depois na estufa a 105 °C por 24 horas. Em seguida submeteu-se à moagem em moinho de bolas, classificou-se em granulometria de <0.16 mm e <0.08 mm e por fim calcinou-se no forno. Finalmente procedeu-se com à caracterização da CBC e CBCI com XRF e XRD.



Figura 6: Cinzas do bagaço de cana depois da calcinação

3.3. Agregado fino

A areia foi colhida na barragem de Corumane, distrito de Moamba, província de Maputo e transportado para o laboratório de materiais do Departamento de Química. Chegando ao laboratório a areia foi submetida a lavagem, secagem à temperatura ambiente por uma semana, seguida de secagem na estufa por 24 horas a 110 °C. A areia depois foi submetida à moagem em moinho de bolas e classificada em 6 classes com granulometrias diferentes, como ilustra a Figura 7. A Tabela 3 apresenta as especificações de areia natural usadas para a produção de argamassas.



Figura 7: Agregado fino dividido em classes.

Tabela 3: Classes de areia usada na preparação das argamassas

Classe do agregado	Grau de finura de cada classe (mm)	Quantidade em gramas
Classe 1	$1.70 > \varnothing > 1.00$	445 g
Classe 2	$1.00 > \varnothing > 0.50$	445 g
Classe 3	$0.50 > \varnothing > 0.30$	150 g
Classe 4	$0.30 > \varnothing > 0.15$	190 g
Classe 5	$0.15 > \varnothing > 0.075$	95 g
Classe 6	< 0.075	25 g
Total	-----	1350

3.4. Preparação de argamassas e dos provetes

Depois da classificação de areia em 6 classes com granulometrias diferentes, seguiu-se a pesagem e preparação das misturas de argamassas conforme descrito na Tabela 4. Os ensaios de resistência mecânica foram realizados no laboratório de cimentos da empresa Trans Aly e no laboratório da empresa Cimentos de Moçambique. A empresa Trans Aly é especializada na produção e comercialização de betão. Neste estudo usou-se o cimento Portland 42.5N e 32.5N produzido na empresa Moçambique Cimentos Dugongo S.A., localizada na província de Maputo, distrito de Matutuine (Bela Vista).

A preparação de argamassas foi feita mantendo-se constante a quantidade de areia (1350g) e água (225ml = 225g), variando-se a quantidade do cimento que foi substituído em 5%, 10% e 15%, por quantidades de pó de conchas e de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBCL e CBCI). O cimento 32.5N e 42.5N foi substituído por pó de conchas e pela mistura de pó de conchas + CBCI conforme mostram os grupos 1, 2 e 3 da Tabela 4. As argamassas foram produzidas numa razão de água/cimento = 0.50 conforme o descrito na norma (NP EN 196-1, 2017). As Tabelas 9 a 16 no **anexo** apresentam as quantidades em gramas dos materiais usados para a produção de argamassas.

As misturas com quantidades necessárias de cada componente previamente pesadas e conservadas em sacos plásticos foram transportadas para o laboratório da empresa Trans Aly e laboratório da empresa Cimentos de Moçambique. As misturas foram feitas manualmente, por falta de um misturador. As massas foram vertidas em moldes e compactadas manualmente. Para a compactação usou-se um ferro, tendo-se submetido a primeira camada a 15 pancadas, e mais 15 pancadas na segunda camada (30 pancadas no total). Depois de 24 horas fez-se a desmoldagem e por fim os provetes foram mergulhados em água no tanque de cura até à determinação da resistência à compressão e flexão em 7 a 28 dias de cura.

Tabela 4: Misturas de argamassas e sua identificação.

Grupo	Misturas	Identificação
Referências	100% Cimento 42.5N	CM
	100% Cimento 32.5N	CM 32.5N
Grupo 1 (substituição do cimento 42.5N por pó de conchas e cinzas do bagaço de cana de açúcar)	Cimento (95%) + PM (5%)	PM (5%)
	Cimento (95%) + EU (5%)	EU (5%)
	Cimento (95%) + AG (5%)	AG (5%)
	Cimento (95%) + CBC-Ind (5%)	CBCI (5%)
	Cimento (95%) + CBC-Lab (5%)	CBCL (5%)
	Cimento (90%) + PM (10%)	PM (10%)
	Cimento (90%) + EU (10%)	EU (10%)
	Cimento (90%) + AG (10%)	AG (10%)
	Cimento (90%) + CBC- Ind (10%)	CBCI (10%)
	Cimento (90%) + CBC-Lab (10%)	CBCL (10%)
	Cimento (85%) + PM (15%)	PM (15%)
	Cimento (85%) + EU (15%)	EU (15%)
	Cimento (85%) + AG (15%)	AG (15%)
	Cimento (85%) + CBC-Ind (15%)	CBCI (15%)
	Cimento (85%) + CBC-Lab (15%)	CBCL (15%)
Grupo 2 (substituição do cimento 42.5N por associação do pó de conchas + cinzas do bagaço de cana de açúcar)	Cimento (92%) + PM (5%) + CBC (3%)	PM5C3
	Cimento (92%) + EU (5%) + CBC (3%)	EU5C3
	Cimento (92%) + AG (5%) + CBC (3%)	AG5C3
	Cimento (90%) + PM (5%) + CBC (5%)	PM5C5
	Cimento (90%) + EU (5%) + CBC (5%)	EU5C5
	Cimento (90%) + AG (5%) + CBC (5%)	AG5C5
	Cimento (85%) + PM (5%) + CBC (10%)	PM5C10
	Cimento (85%) + EU (5%) + CBC (10%)	EU5C10
	Cimento (85%) + AG (5%) + CBC (10%)	AG5C10
	Cimento (87%) + PM (10%) + CBC (3%)	PM10C3
	Cimento (87%) + EU (10%) + CBC (3%)	EU10C3
	Cimento (87%) + AG (10%) + CBC (3%)	AG10C3
	Cimento (85%) + PM (10%) + CBC (5%)	PM10C5
	Cimento (85%) + EU (10%) + CBC (5%)	EU10C5
	Cimento (85%) + AG (10%) + CBC (5%)	AG10C5
Grupo 3 (substituição do cimento 32.5N por pó de conchas)	Cimento (95%) + PM (5%)	5%PM
	Cimento (95%) + EU (5%)	5%EU
	Cimento (95%) + AG (5%)	5%AG
	Cimento (90%) + PM (10%)	10%PM
	Cimento (90%) + EU (10%)	10%EU
	Cimento (90%) + AG (10%)	10%AG

Onde: AG- concha *Anadara Granosa*, EU- concha *Ennucula Uruguayensis*, PM- concha *Polynices Mammilla*

✓ Laboratório da empresa Trans Aly

Para a moldagem dos provetes no laboratório Trans Aly foram usados moldes: 100 mm x100 mm x100 mm e a resistência à compressão foi determinada em uma prensa de marca

Concrete testing equipment com capacidade máxima de força de 500 kN conforme o descrito na norma, ver Figura 8.



Figura 8: Moldagem dos provetes no laboratório da empresa Trans Aly: (a) sacos plásticos com a mistura, (b) moldagem dos provetes e (c) tanque de cura

✓ *Laboratório da empresa Cimentos de Moçambique*

No laboratório da empresa Cimentos de Moçambique, a resistência à compressão foi determinada por uma prensa com velocidade de carga de 2400 ± 200 N/s. A resistência flexão obteve-se em uma prensa que permite a aplicação de carga de até 10 kN e com uma velocidade de 50 ± 10 N/s. A moldagem foi feita em provetes de forma prismática com 40 mm de largura x 40 mm de altura x 160 mm de comprimento (Figura 9). A produção de argamassas nos dois laboratórios foi de acordo com os procedimentos descritos na norma NP EN 196-1:2017 “Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas”



Figura 9: Moldagem dos provetes e depois da desmoldagem das argamassas

4. RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1. Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA), determina a variação de massa (peso) que ocorre durante o aquecimento de um material em função da temperatura. Esta análise permite conhecer o comportamento térmico de um determinado material. As Figuras 10, 11 e 12 apresentam as curvas de TGA/DTG de AG, PM e EU respectivamente, com finura <0.08mm. O AG com finura <0.08mm (Figura 10) indica a ocorrência de um (1) efeito térmico, com uma perda de massa de 43.34% entre 640 e 840 °C. A partir de 840 °C a curva de TGA permanece constante.

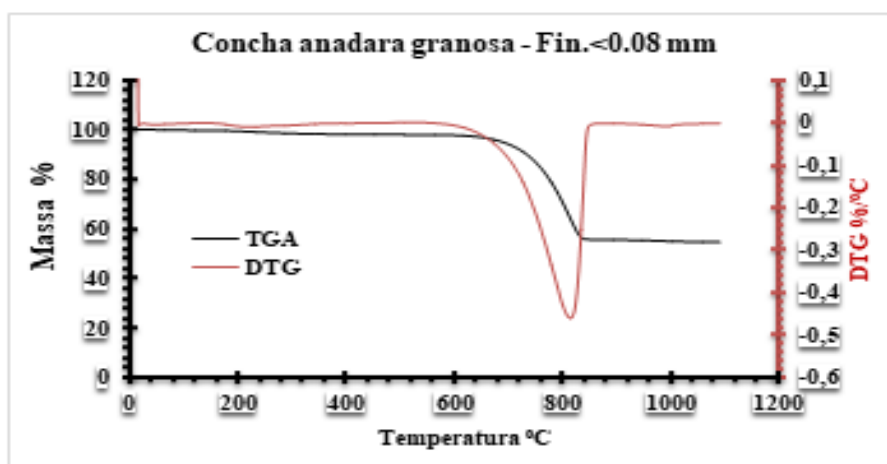


Figura 10: Curvas de TGA/DTG do AG com finura <0.08 mm.

A curva de TGA do PM com finura <0.08mm (Figura 11) apresenta também um (1) efeito térmico, com perda de massa de 43.06% entre 680 - 835.19 °C. A partir de aproximadamente 840 °C a Curva de TGA permanece constante.

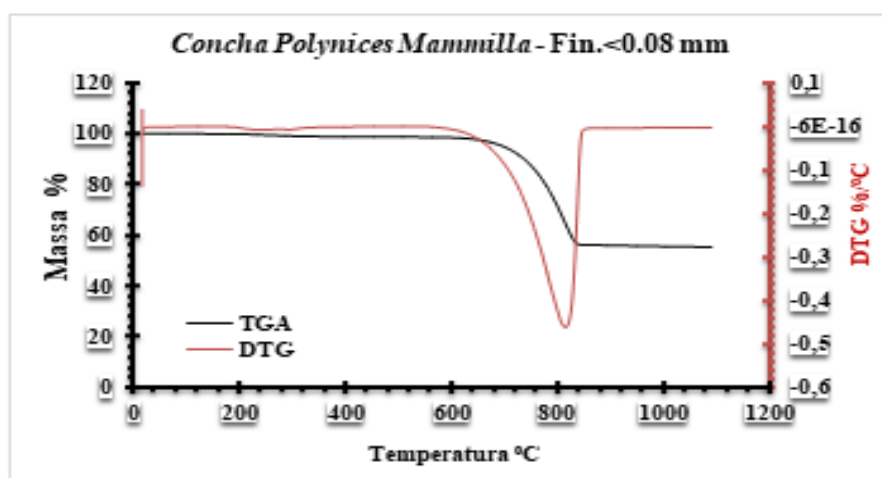


Figura 11: Curvas de TGA/DTG do PM com finura <0.08mm.

Na curva de TGA do EU com finura <0.08mm (Figura 12) o efeito térmico verifica-se no intervalo de temperatura entre 640 °C a 782.5 °C, com uma perda de massa de 43.93%. A partir de 782.5 °C a curva de TGA permanece constante.

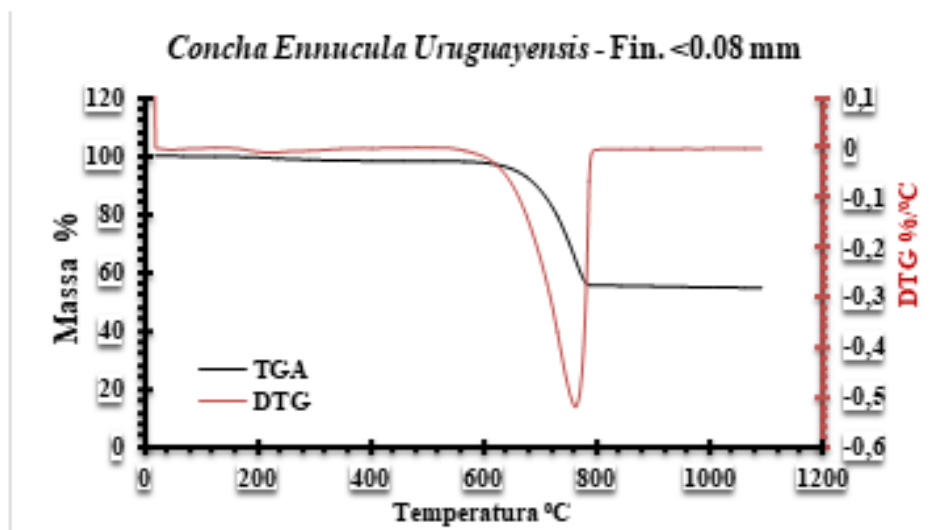


Figura 12: Curvas de TGA/DTG do EU com finura <0.08mm.

No geral a análise termogravimétrica dos resíduos de conchas apresentou **um único estágio** de perda de massa para todas as conchas e verificou-se uma perda de massa de cerca de 43 a 44% entre 600 e 840 °C. Os resultados do TGA deste estudo estão em concordância com os resultados encontrados por outros autores que trabalharam com outros tipos de resíduos de conchas diferentes (Mo *et al.*, 2018; Laskar *et al.*, 2018; Safi *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019; Bamigboye *et al.*, 2020). Para Hasnaoui *et al.* (2021) o amplo pico endotérmico em aproximadamente 600 a 840 °C indica a descarbonatação da concha e liberação de CO₂.

4.2. Caracterização por fluorescência de raios –X (XRF)

As Tabelas 5 e 6 abaixo apresentam os resultados da caracterização por XRF de CBCI, CBCL e de pó de conchas. Observa-se a partir da Tabela 5 que a CBCI calcinada a 900 °C durante 2h apresentou elevado teor de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃, cerca de 79.84% e 51.78% de SiO₂. A CBCL calcinada a 900 °C durante 2h apresentou 50.63% de SiO₂ e 78.46% de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃. A calcinação da CBCI e CBCL a 550 °C por 3 horas de tempo resultou na cinza com 49.10% e 47.95% de SiO₂ e 77.10% e 76.65% de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃, respectivamente.

No presente estudo encontrou-se teores superiores de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ na CBC que os 77.47% encontrados por Akbar *et al.* (2020) na mesma temperatura e mesmo tempo de calcinação. Entretanto neste estudo encontrou-se teores de SiO_2 inferiores do que 66.7% encontrados por Akbar *et al.* (2020). Torres Agredo *et al.* (2014) reportam que a diferença entre a composição química entre amostras da CBC é resultado da variabilidade dos processos de combustão. Entretanto a calcinação da CBC a 550 °C por 3 horas de tempo apresentou menores valores de SiO_2 , cerca de 49.10% e 47.95% para CBCI e CBCL, respectivamente. Apesar disso, esta cinza pode ser considerada uma pozolana natural, uma vez que apresenta teores de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ superiores a 70%, conforme descreve Athira *et al.* (2020).

Tabela 5: Resultados da análise da CBCI e CBCL por XRF.

Material	Composição em óxidos (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S+A+F
CBCI 550°C/3h	49.1	21.4	6.6	3.9	0.3	10.4	0.04	0.4	0.07	5.7	77.1
CBCL 550°C/3h	47.9	21.4	7.3	3.9	0.3	10.4	0.07	0.4	0.07	5.9	76.6
CBCI 900°C/2h	51.7	21.3	6.7	3.9	0.3	9.8	0.01	0.40	0.01	5.5	79.8
CBCL 900°C/2h	50.6	21.5	6.3	3.6	0.2	9.5	0.05	0.4	0.08	5.3	78.5

S+A+F - $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

Os resultados de XRF dos resíduos de conchas calcinadas apresentam elevados teores de CaO, cerca de 96.38 a 99.57%. Os resíduos de conchas foram calcinados a temperaturas que variam entre 800 °C e 1100 °C por 2 a 3 horas de tempo com incrementos de 100 °C. A Tabela 6 mostra os resultados de análise de conchas por XRF. Os teores de CaO encontrados neste estudo estão em concordância com os resultados apresentados no estudo de Hart (2020) no qual os teores de CaO variam de 93.83% a 99.17%.

A calcinação do AG a 800 °C/2h apresentou elevado teor de CaO, cerca de 99.57%, entretanto a calcinação do AG a 1000 °C/2h apresentou menor valor de CaO, cerca de 98.8% e a 1100 °C/2h foi de 98.6%. Lertwattanakul *et al.* (2012) no seu estudo calcinou a AG em temperaturas maiores que 500 °C e encontrou 54.24% de CaO, 0.98% de SiO_2 , 0.06% de Fe_2O_3 , 0.17% Al_2O_3 , 0.02% de MgO, 0.03% de K_2O e uma perda de massa de 42.87%. Olivia *et al.* (2015) calcinou o AG a 500 °C durante 3 dias e obteve uma composição química de 51.56% de CaO, 1.60% de SiO_2 , 0.92% Al_2O_3 , 1.43% de MgO, 0.06% de K_2O e uma perda de massa de 41.84%.

A concha EU quando calcinado a 800 °C e 1000 °C por 2h e 1100 °C por 3h apresentou teores elevados de CaO, cerca de 99.31%, 99.40% e 99.23%, respectivamente. E o EU apresentou menor teor de CaO quando calcinado a 1000 °C por 3h, cerca 97.13%. O PM apresentou maior valor de CaO de 99.17% quando calcinado a 900 °C por 3 horas de tempo. E verificou-se como menor valor de CaO de 96.38% quando calcinado a 1000 °C/3h. O PM apresentou ainda pequenas quantidades de SiO₂ quando calcinado a 900 °C/2h, 1000 °C/2h, 1000 °C/3h e 1100 °C/2h.

Tabela 6: Resultados da análise de pó de conchas AG, EU e PM por XRF.

			Composição (%)								
T°C	tempo	Concha	CaO	SrO	NiO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CuO	K ₂ O	ZrO ₂	SiO ₂
800	2 horas	AG	99.6	0.24	0.04	0.12	0.01	0.02	-	-	-
		EU	99.3	0.33	0.03	0.17	-	0.03	-	-	-
		PM	98.8	0.4	0.03	0.15	-	0.02	-	-	-
	3 horas	AG	98.8	0.31	0.34	0.31	-	0.03	0.5	-	-
		EU	98.8	0.4	0.03	0.13	-	0.03	0.56	0.03	-
		PM	98.5	0.3	0.04	0.16	-	0.02	0.6	-	-
900	2 horas	AG	98.9	0.2	0.04	0.12	-	0.02	0.5	-	-
		EU	98.7	0.3	0.03	0.13	-	0.02	0.6	0.11	-
		PM	98.3	0.4	0.04	0.15	-	0.02	-	-	1.08
	3 horas	AG	98.9	0.2	0.04	0.17	-	0.02	0.5	-	-
		EU	98.8	0.3	0.04	0.13	-	0.02	0.57	0.11	-
		PM	99.2	0.4	0.05	0.14	-	0.02	-	-	-
1000	2 horas	AG	98.8	0.2	0.06	0.11	0.01	0.02	0.58	-	-
		EU	99.4	0.3	0.06	0.15	-	0.02	-	0.11	-
		PM	98.2	0.4	0.05	0.15	-	0.06	-	-	1.03
	3 horas	AG	99.3	0.2	-	0.13	0.01	0.02	-	-	-
		EU	97.1	0.3	0.05	0.15	-	0.02	2.3	0.10	-
		PM	96.4	0.3	0.04	0.14	-	0.02	1.7	-	1.37
1100	2 horas	AG	98.6	0.2	0.05	0.13	0.01	0.02	0.6	-	-
		EU	98.7	0.3	0.05	0.14	-	0.02	0.67	0.11	-
		PM	97.3	0.4	0.04	0.14	-	0.02	0.58	-	1.08
	3 horas	AG	98.9	0.2	-	0.11	0.00	0.02	0.64	-	-
		EU	99.2	0.3	0.05	0.01	-	0.02	-	-	-
		PM	98.9	0.3	0.05	0.04	-	0.02	0.57	-	-

A Tabela 7 apresenta a composição química do cimento 42.5 N e 32.5 N usado para a produção de argamassas neste estudo. Os dois tipos de cimentos apresentam o mesmo teor

de SiO₂ (22.19%), o cimento 32.5 N apresentou maior valor de CaO (de 67.37%) e o cimento 42.5 N mostrou maiores teores de óxido de ferro e óxido de alumínio, cerca de 4.84% e 7.81%, respectivamente.

Tabela 7: Resultados da análise por XRF do Cimento 42.5N e 32.5N.

Óxidos	Composição (%)	
	Cimento Portland 42.5N	Cimento Portland 32.5N
CaO	60.81	67.37
SiO ₂	22.19	22.19
Al ₂ O ₃	7.81	0.67
Fe ₂ O ₃	4.84	4.71
SO ₂	2.54	3.21
K ₂ O	1.07	1.11
TiO ₂	0.49	0.48
MnO ₂	0.10	0.10
SrO ₂	0.07	0.08
CrO	0.03	0.03
CuO	0.02	0.02
ZrO ₂	0.02	0.02
VO	0.01	-
ZnO	0.01	0.01

4.3. Análise mineralógica dos resíduos de conchas

Os difratogramas de análise por XRD dos resíduos de conchas (Figuras 13 a 15) calcinadas a 1100 °C por 3 horas de tempo apresentaram teores do mineral portlandite (Ca(OH)₂) que variam de 77% na concha PM, 100% em AG e 87.9% para EU e encontrou-se 16.3% em PM e 12.1% em EU do mineral vaterite (CaCO₃), e a calcite (CaCO₃) foi de 4.9% para PM.

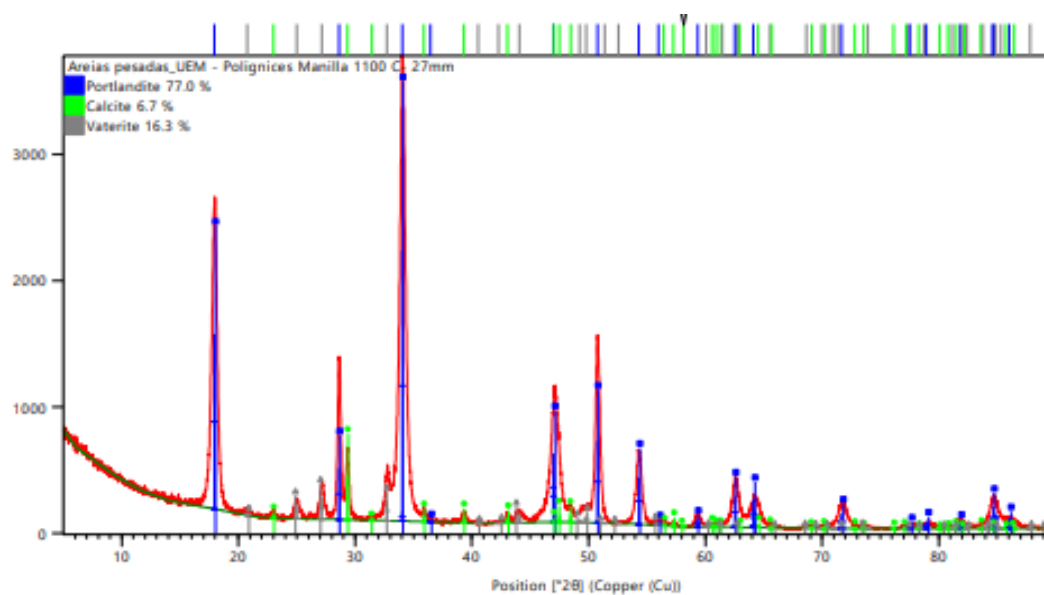


Figura 13: Difratoograma do resíduo de concha PM

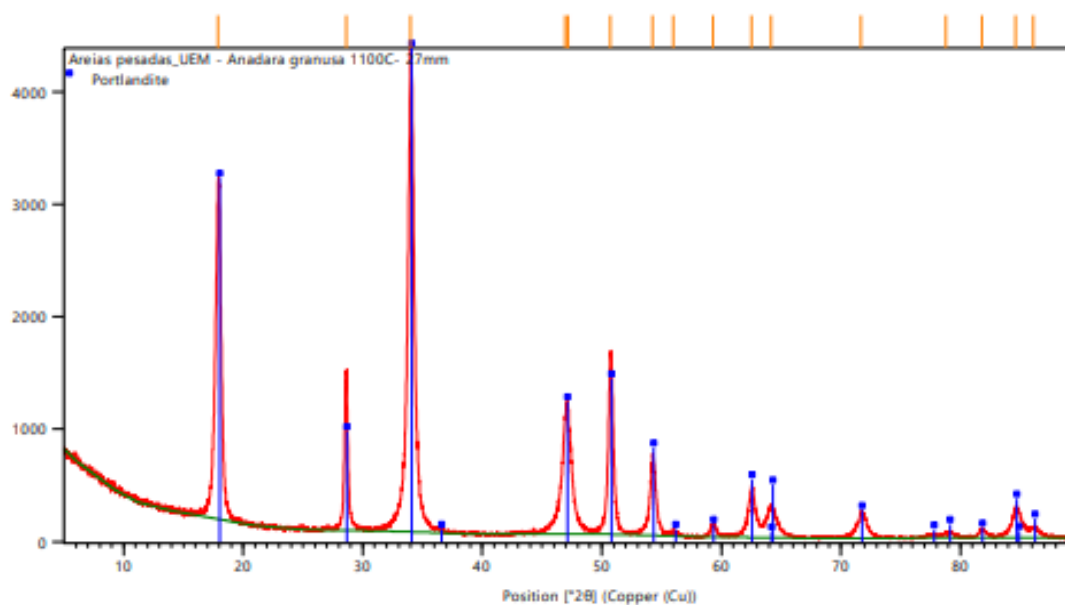


Figura 14: Difratoograma do resíduo de concha AG

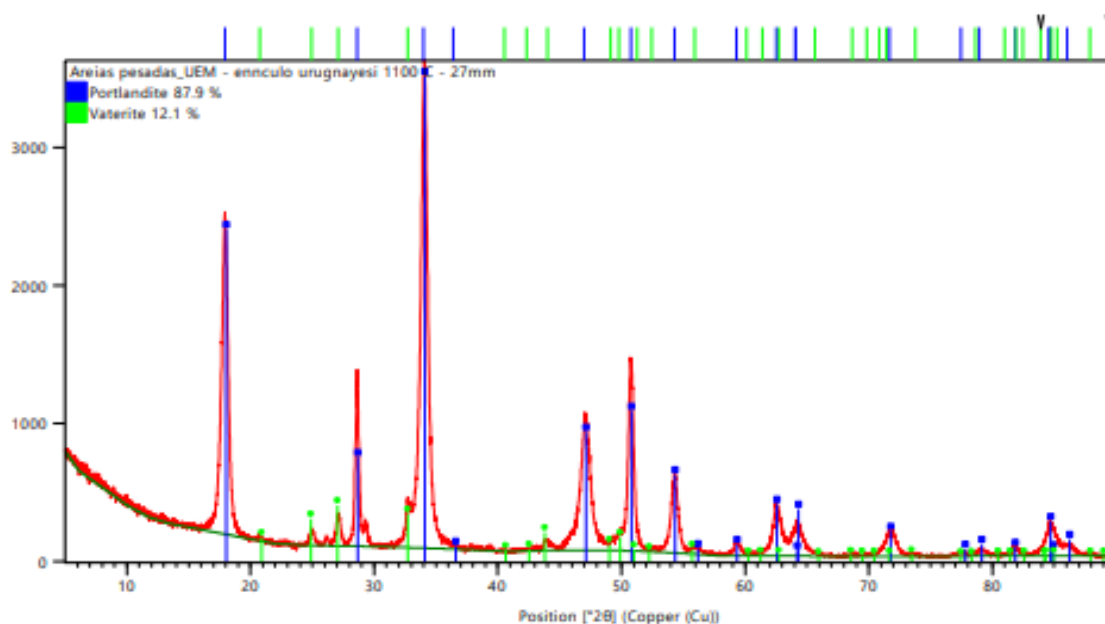


Figura 15: Difratoograma do resíduo de concha EU

A Tabela 8 mostra o resumo dos resultados de análise por XRD dos três (3) tipos de resíduos de conchas, *Polynice mammilla*- PM, *Anadara granosa*- AG e *Ennucula uruguayensis*- EU calcinados a 1100 °C/3 h.

Laskar *et al.* (2018) reportou que as conchas não calcinadas possuem carbonato de cálcio como maior componente e apresentam duas fases cristalinas, a calcite e aragonita (CaCO_3), e a decomposição do CaCO_3 em CaO ocorre a temperatura acima de 700 °C, isso é confirmado pelos resultados do TGA efectuados neste estudo.

Neste estudo verificou-se a presença de maiores quantidades do mineral portlandite e segundo Yamaguchi & Hashimoto (2022) o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ melhora as propriedades mecânicas e é sintetizado pelo CaO e H_2O durante a hidratação.

Tabela 8: Resultados da análise por XRD de resíduos de conchas.

Pó de conchas	Minerais (%)		
	Portlandite	Vaterite	Calcite
PM	77	16.3	6.7
AG	100	-	-
EU	87.9	12.1	-

4.4. Ensaio de resistência à compressão e flexão de argamassas

4.4.1. Resistência à compressão (RC) de argamassas na substituição do cimento 42.5N por CBCI, CBCL e pó de conchas

As Figuras 16-19 apresentam os resultados da RC de argamassas feitos por substituição do cimento 42.5N por CBCI e pó de conchas. Pode se observar a partir da Figura 16 que a substituição de 5% do cimento Portland 42.5N por resíduos de conchas, CBCI e CBCL apresentou resultados superiores em comparação com a substituição de 10 e 15%. A substituição de 5% de cimento por PM mostrou valor mais elevado (45.85 MPa) em comparação com 42.85MPa e 38.67 MPa de AG e EU, respectivamente. A RC de PM5 encontra-se acima do valor 43.85 MPa da argamassa controle. Entretanto a RC de 5%PM e 5%AG encontra-se acima da resistência mínima permitida de 42.5 MPa para cimentos 42.5N. Os valores da RC na substituição de 10% do cimento por conchas mostraram valores na ordem de 34.63, 34.62 e 33.95 MPa para o PM, AG e EU, respectivamente. Na substituição de 15% do cimento por resíduos de conchas, o EU apresentou valor de RC superior (31.93 MPa) em comparação com outras conchas.

A substituição de 5% do cimento 42.5N por CBCL apresentou uma RC de 42.25 MPa, superior que 41.03 MPa obtido na substituição de 5% do cimento por CBCI. Na substituição de 10% (39.25 MPa na CBCL e 39.82 MPa na CBCI) e 15% (33.26 MPa na CBCL e 35.61 MPa na CBCI) verifica-se um decréscimo do valor da RC nas duas cinzas.

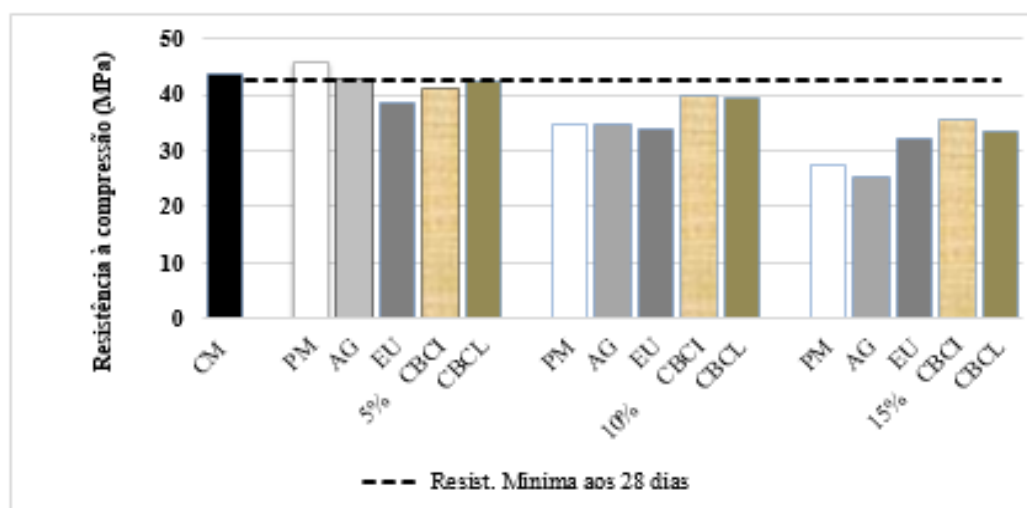


Figura 16: Resistência à compressão de argamassas com adição de resíduos de conchas e cinzas do bagaço de cana, após 28 dias de cura

A partir da Figura 17 observa-se que a após 7 e 28 dias de cura a substituição de 8% (5% de pó de conchas AG + 3% da CBCI) de cimento 42.5N apresentou maior valor do que outras substituições, entretanto menor que a argamassa de controlo (CM).

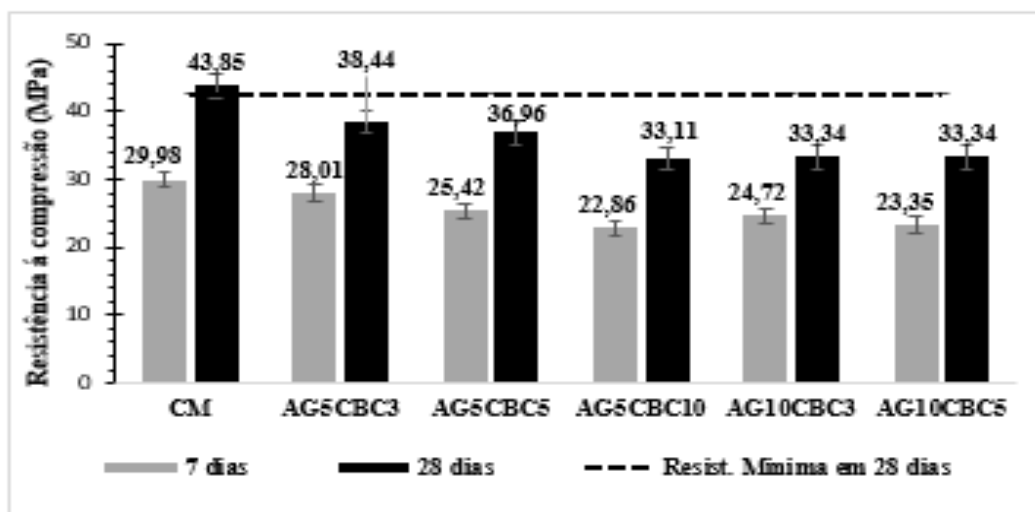


Figura 17: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do AG e CBCI, após 7 e 28 dias de cura.

A substituição do cimento 42.5N por pó de PM + CBCI apresentou resultados de RC baixos comparado ao CM. A argamassa com 5%PM + 3%CBCI mostou uma RC maior em relação as outras misturas (Figura 18).

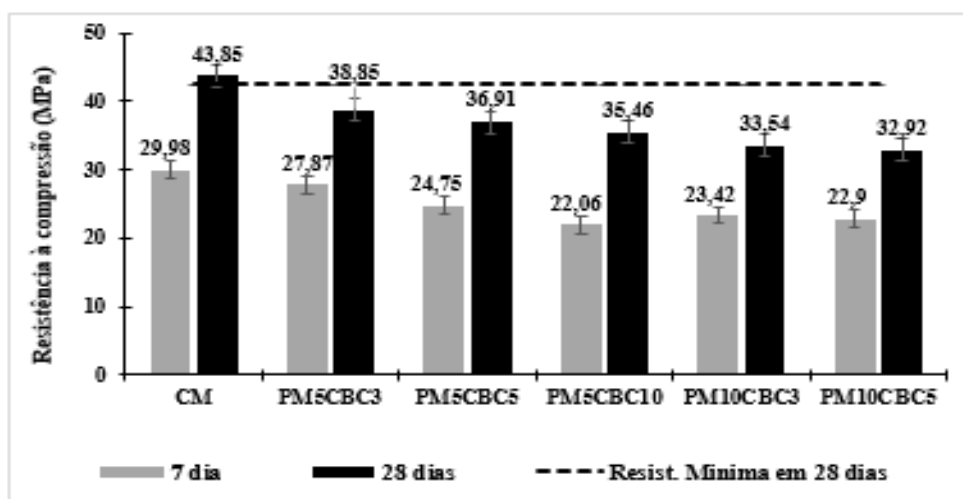


Figura 18: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do PM e CBCI, após 7 e 28 dias de cura

A Figura 19 mostra os resultados de RC de argamassas produzidas pela mistura do pó de EU + CBCI e a RC das misturas é baixo em relação a argamassa CM. Em 7 e 28 dias de cura, a substituição de 8% do cimento 42.5N pela mistura do pó de conchas + CBCI produziu resultados de RC maiores do que as outras substituições.

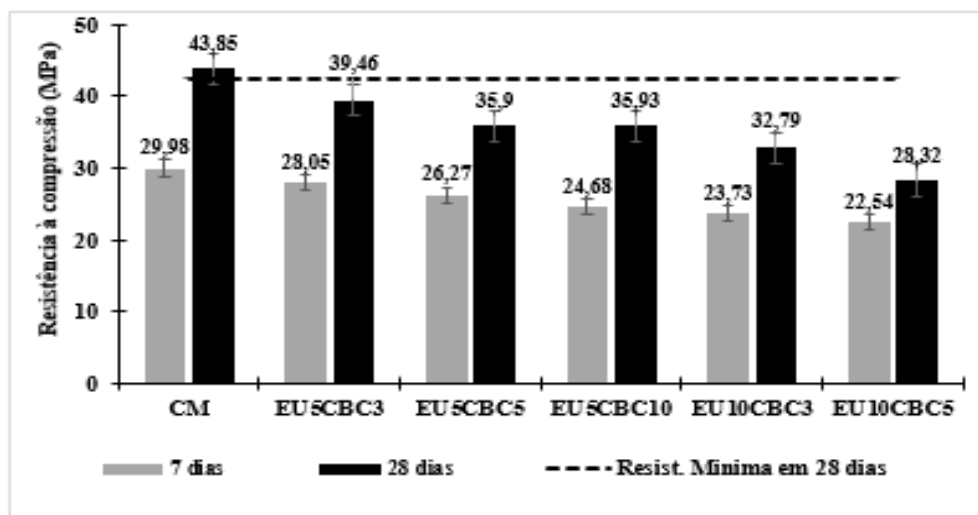


Figura 19: Resistência à compressão de argamassas com adição simultânea do EU e CBCI, após 7 e 28 dias de cura

A partir da Figura 20, aos 7 dias observa-se a seguinte ordem crescente de RC, EU > AG > PM nas substituições de 8, 10 e 15% do cimento pela mistura de resíduo de conchas + CBCI. O aumento da percentagem de substituição da concha em até 10% apresentou resultados de RC superiores na seguinte ordem AG > EU > PM.

Aos 28 dias, a Figura 21 apresenta na substituição de 8, 13 e 15% do cimento, valores de RC na ordem EU > PM > AG e AG > PM > EU na substituição de 10% do cimento. O aumento da percentagem de substituição da concha em até 10% e perfazendo-se 15% observou-se um crescimento de resultados de RC na seguinte ordem PM > AG > EU.

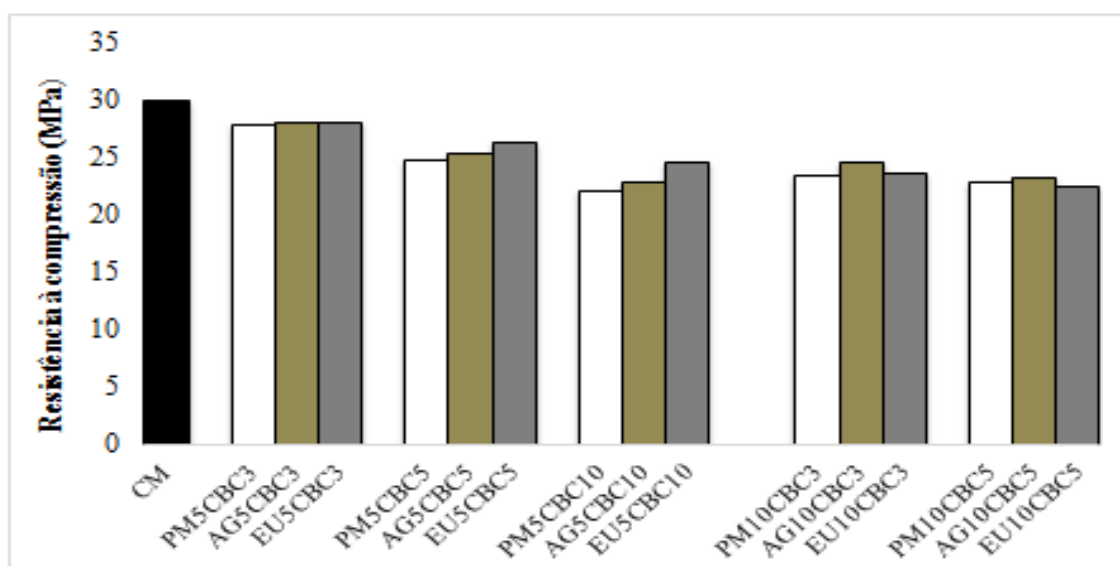


Figura 20: Resistência à compressão de todas misturas de argamassas, após 7 dias de cura.

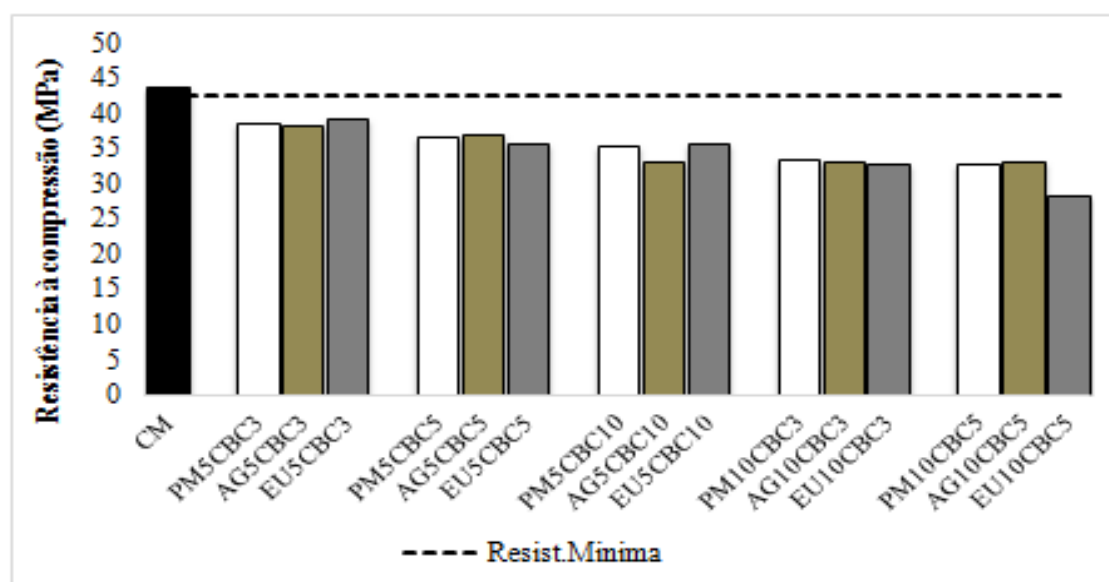


Figura 21: Resistência à compressão de todas misturas de argamassas, após 28 dias de cura.

No presente estudo, a substituição do cimento 42.5N por CBCI e CBCL apresentou um comportamento decrescente nos resultados de RC, diferente com o verificado nos trabalhos de Berenguer *et al.* (2016, 2018) onde nas substituições de 5, 10 e 15% verificou-se uma tendência crescente dos valores de RC de 29.1, 22 e 31.8 MPa para a CBC-pizzaria, e 31.2, 32.1 e 35.6 MPa para a CBCI, respectivamente. Os resultados aqui obtidos nas substituições de 5% (41.03 MPa), e 10% (39.82 MPa), a CBCI apresentou valores de RC superiores do que os encontrados por Berenguer *et al.* (2016, 2018) sendo que a 15% verificou-se o mesmo valor de RC.

Os resultados de RC na substituição do cimento 42.5N por pó conchas são similares com os encontrados por Wang & Liu (2020) onde a adição de 5% do pó de concha apresentou resistências mecânicas comparadas a massa de 100% do cimento 42.5N e o aumento do resíduo de concha na argamassa diminui as resistências. Segundo Lertwattanaruk *et al.* (2012) a diminuição da RC em argamassas é devido a baixa reactividade do material com a concha. Suarez-Riera *et al.* (2020) afirma que a redução das propriedades mecânicas de argamassas de conchas pode ser devido a fraca absorção da água pelas conchas o que afecta a hidratação do cimento. Para Nguyen *et al.* (2013), as propriedades mecânicas também são influenciadas pela granulometria entre a concha e agregados.

Baran *et al.* (2020) produziu argamassas substituindo 5, 10, 15, 20, 25 e 30% do cimento por resíduos de conchas e observou que o aumento da concha reduz a RC. A substituição de 5% apresentou resultados maiores em relação a outras misturas, entretanto todas as misturas apresentaram valores de RC inferiores a argamassa com 100% do cimento (42.5 MPa). Este autor afirma que a baixa RC é devido a insuficiência da quantidade total de $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ que resulta em produtos com baixas propriedades pozolânicas e também devido ao elevado nível de cloretos que inibem a actividade aceleradora das conchas.

Wang & Liu (2020) afirmam que a substituição de 5% do cimento por resíduos de conchas promove uma boa dispersão das partículas e compactação da mistura, o que é importante para o melhoramento das propriedades da massa de cimento.

Após 7 e 28 dias de cura a substituição simultânea de 8% cimento (por de 5% de resíduos de conchas e 3% da CBCI) mostrou valores de RC superiores em comparação com as outras substituições, mas entretanto inferiores do que a argamassa controlo de 43.85 MPa e de 42.5 MPa descritos na norma NP EN 197-1:2012 para cimentos 42.5N.

No presente estudo na substituição de 10% do cimento 42.5N (5% de concha + 5% da CBCI) e 15% (5% de concha + 10% da CBCI) observou-se resultados de RC um pouco superiores aos encontrados por Rollakanti *et al.* (2020) onde substituiu 10% de cimento por 5% da cinza da madeira + 5% do pó de concha e 15% do cimento por 7.5% da cinza da madeira + 7.5% do pó de concha. E aos 28 dias verificou-se 33.69 MPa na mistura de 10% e 31.17 MPa na mistura de 15%, resultados pouco inferiores aos observados neste estudo, 36.96 MPa para AG5CBC5, 36.91 MPa para PM5CBC5 e 35.9 MPa de EU5CBC5 na substituição de 10%, e 33.11 MPa para AG5CBC10, 35.46 MPa para PM5CBC10 e 35.93 MPa de EU5CBC10 na substituição de 15%.

Os resultados de RC verificados neste estudo estão em concordância com os encontrados por Seo *et al.* (2019) onde a substituição do cimento em até 9% aumenta a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas das argamassas produzidas.

4.4.2. Resistência à compressão e flexão de argamassas na substituição do cimento 32.5N por pó de conchas

As Figuras 22 e 23 apresentam os resultados de resistência à compressão e flexão de argamassas em substituição parcial do cimento Portland 32.5N por resíduos de conchas (PM, AG, EU) após 7 e 28 dias de cura. A Figura 22 apresenta os resultados da resistência à compressão de argamassas, e após 7 dias verificou-se que todas as misturas encontram-se dentro do valor da resistência mínima de 16 MPa. Após 28 dias de cura todas misturas apresentaram uma resistência à compressão baixa em comparação com a argamassa padrão (cerca de 34.12 MPa), excepto a argamassa de 5% PM que apresentou valor elevado de resistência à compressão, de 34.55 MPa.

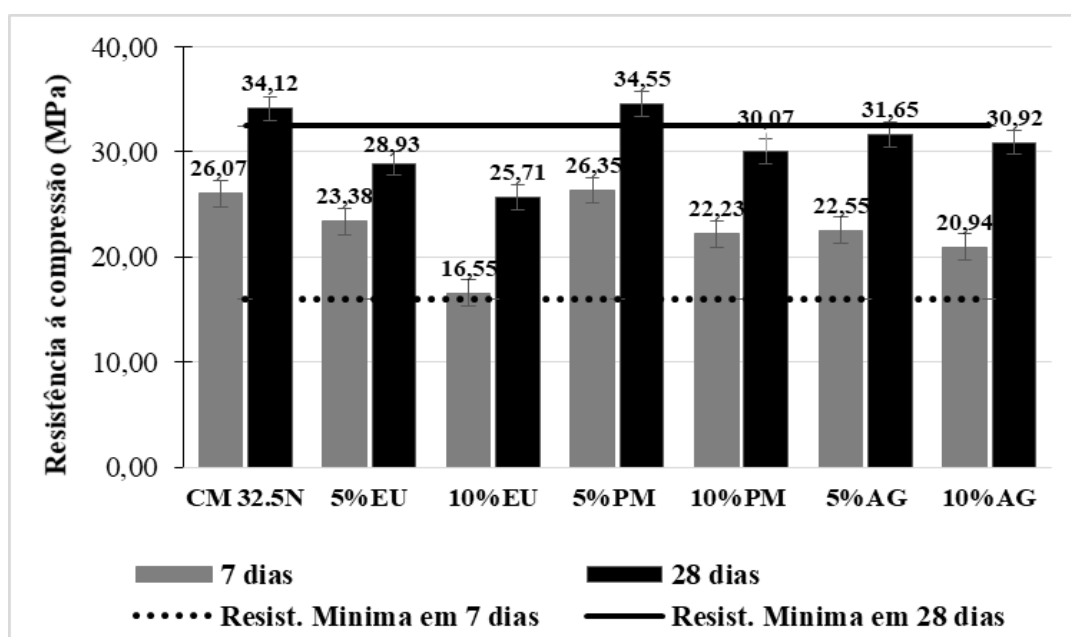


Figura 22: Resistência à compressão de argamassas, após 7 e 28 dias de cura.

A Figura 23 mostra que após 7 dias, a resistência à flexão de argamassas mostrou valores baixos em todas as misturas em comparação com argamassa controlo (5.27 MPa), exceptuando a mistura de 5%PM que apresentou elevada resistência à flexão, cerca de 5.75 MPa, e aos 28 dias, as misturas de 5%PM, 5%AG e 10%AG apresentaram valores de resistência à flexão (cerca de 6.87 MPa, 7.06 MPa e 7.25 MPa, respectivamente)

ligeiramente superiores em comparação com argamassa controle (argamassa CM32.5N), de cerca de 6.77 MPa.

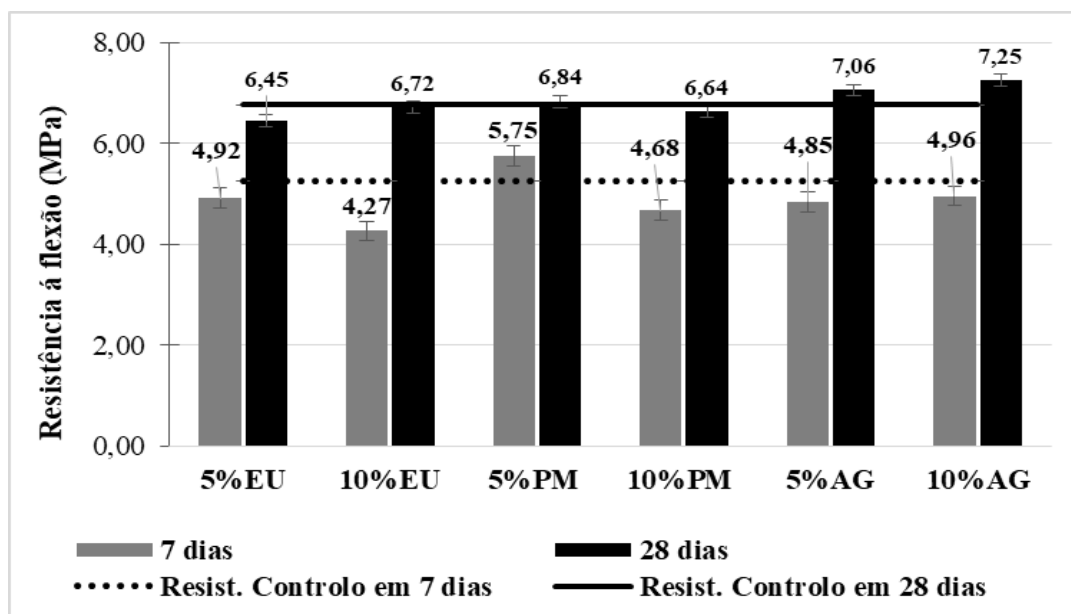


Figura 23: Resistência à flexão de argamassas, após 7 e 28 dias de cura.

A substituição do cimento Portland 32.5 com PM e AG em até 10% produziu argamassas com valores de resistências mecânicas satisfatórios. Estes resultados são similares que os observados por Olivia *et al.* (2015) que substituiu o cimento 32.5N em 2, 4, 6 e 8% por resíduo de concha *Anadara granosa*, e verificou que aos 28 dias a RC da mistura com 4% (32.24 MPa) foi maior em comparação com as outras misturas, mas inferior do que a RC da mistura com 100% do cimento (37 MPa). Salimo *et al.* (2021) estudou a resistência à compressão de argamassas contendo cinzas do bagaço de cana-de-açúcar provenientes da indústria de açúcar. Observou que a substituição de 5% do cimento Portland 32.5 N produziu resultados dentro dos limites.

Olivia *et al.* (2015) reportou no seu estudo que o aumento da resistência à flexão depois dos 28 dias é provavelmente devido ao cálcio presente no cimento que produz uma boa ligação entre a pasta e o agregado.

Neste estudo, verificou-se que o aumento da percentagem de substituição do cimento por EU e AG em até 10% aumenta os valores de resistência à flexão de argamassas. E este comportamento é contrário ao observado por Baran *et al.* (2020) onde observou que aos 28 dias o aumento da percentagem de substituição acima de 5% causa a redução da resistência

à flexão de argamassas. E o decréscimo da resistência à compressão em substituições acima de 5% pode ser devido a baixa ocorrência das reacções de hidratação.

O aumento da percentagem de substituição do cimento Portland 32.5N por AG e EU em até 10% aumenta a resistência à flexão em 28 dias de cura. E o aumento da percentagem de substituição do cimento Portland 32.5N em até 10% diminui a resistência à compressão em todas idades.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A partir dos resultados obtidos neste estudo é possível concluir que:

- ✚ Na análise termogravimétrica, as conchas apresentam no total uma perda de massa de aproximadamente de 43.34% para AG, 43.06% do PM e 43.93% no EU entre 600 a 840 °C;
- ✚ A CBCI é composta predominantemente por 51.78% de SiO₂ e de 79.84% de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃. E a CBCL é composta por 50.63% de SiO₂ e 78.46% de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃;
- ✚ A análise de resíduos de conchas por XRF entre 800 °C a 1100 °C por 2h a 3h apresentam teores de CaO que variam entre 96.38% a 99.57%. E os resultados de XRF dos resíduos de conchas a 1100 °C por 3 horas de tempo apresentaram uma composição de CaO de 98.99% para AG, 99.23% para EU e 98.92% para PM;
- ✚ Após 28 dias, a substituição de 5% do cimento Portland 42.5N por resíduos de conchas apresentou resultados superiores de RC em comparação com a substituição de 10 e 15%. Na substituição de 5% obteve-se valores de resistência à compressão que decrescem na seguinte ordem PM > AG > EU;
- ✚ Na substituição de 5% do cimento Portland 42.5N por CBCL obteve-se uma RC de 42.25 MPa, e 41.03 MPa obtido na CBCI. Na substituição de 10% e 15% verificou-se um decréscimo do valor da RC nas duas cinzas em 28 dias de cura;
- ✚ Observou-se que a substituição com CBCI e CBCL pode obter argamassas dentro dos limites admissíveis com adições de até 5%;
- ✚ A substituição do cimento Portland 42.5N pela associação do resíduo de conchas + CBCI mostrou resultados de resistência à compressão inferiores do que a argamassa de 100% do cimento. A substituição de 8% do cimento 42.5N por 5% do resíduo de conchas e 3% da CBCI apresentou maior resistência à compressão em comparação com as outras substituições e obteve-se 38.44 MPa para AG5CBC3, 38.85 MPa para PM5CBC3 e 39.46 MPa para EU5CBC3;
- ✚ Na substituição de 10% do cimento 42.5N por 5% da concha e 5% da CBCI encontrou-se 36.96 MPa de resistência à compressão para AG5CBC5, 36.91 MPa para PM5CBC5 e 35.9 MPa de EU5CBC5. Na substituição de 15% do cimento 42.5N por 5% da concha e 10% da CBCI verificou-se uma resistência à compressão de

33.11 MPa para AG5CBC10, 35.46 MPa para PM5CBC10 e 35.93 MPa de EU5CBC10;

- ✚ Na substituição do cimento 42.5N por associação de conchas + CBCI encontrou-se resultados de resistência à compressão pouco superiores do que os apresentados em outros estudos onde a concha é misturada com outras matérias para substituir o cimento;
- ✚ Depois dos 28 dias de cura todas misturas com cimento 32.5N apresentaram resultados de resistência á flexão comparáveis a argamassa com 100% de cimento. O aumento da percentagem de substituição do cimento Portland 32.5N por AG e EU em até 10% aumenta a resistência à flexão em 28 dias de cura;
- ✚ O aumento da percentagem de substituição do cimento 32.5N e 42.5N em até 10% diminui a RC após 7 e 28 dias de cura;
- ✚ No geral, a partir dos resultados de resistência à compressão e à flexão encontrados neste estudo; os resíduos de concha *Polynices mammilla* e *Anadara Granosa* podem substituir o cimento Portland 42.5N numa percentagem máxima de até 5% e podem substituir o cimento Portland 32.5N numa percentagem máxima de até 10%. A mistura do resíduo de conchas + cinzas do bagaço de cana pode substituir o cimento 32.5N numa percentagem máxima de até 13%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 196-1, N. E. (2017). *Métodos de ensaio de cimentos Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*.
2. 197-1, N. (2012). *_Cimentos – Parte 1 Composição, especificação e critérios de conformidade._pdf*.
3. Akbar, A., Farooq, F., Shafique, M., Aslam, F., Alyousaf, R., & Abduljabbar, H. (2020). Sugarcane bagasse ash-based engineered geopolymer mortar incorporating propylene fibers. *Journal of Building Engineering*, 101492. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101492>
4. Albuquerque, M. (2016). *Identificação das espécies de moluscos não indígenas da Costa Portuguesa*.
5. Ammari, M. Z. J., Ghoraishi, M., Abidou, A., & Al-Rousan, R. Z. (2017). Sand With crushed seashells and its effect on the strength of mortar and concrete used in the United Arab Emirates. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(9), 462–470.
6. Anjos, M. A. S., Araújo, T. R., Ferreira, R. L. S., Farias, E. C., & Martinelli, A. E. (2020). Journal of Building Engineering Properties of self - leveling mortars incorporating a high - volume of sugar cane bagasse ash as partial Portland cement replacement. *Journal of Building Engineering*, 32(June), 101694. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101694>
7. Athira, G., Bahurudeen, A., & Vishnu, V. S. (2020). Availability and Accessibility of Sugarcane Bagasse Ash for its Utilization in Indian Cement Plants: A GIS-Based Network Analysis. *Sugar Tech*. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00842-x>
8. Ballester, P., Mármol, I., Morales, J., & Sánchez, L. (2007). *Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars*. 37, 559–564. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.01.004>
9. Bamigboye, G. O., Okara, O., Bassey, D. E., Jolayemi, K. J., & Ajimalofin, D. (2020). The use of *Senilia senilis* seashells as a substitute for coarse aggregate in eco-friendly concrete. *Journal of Building Engineering*, 32(September), 101811. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101811>
10. Baran, Y., Gökçe, H. S., & Durmaz, M. (2020). *Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes*. 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120965>

11. Berenguer, R. A., Helene, P., Silva, F. A. N., Torres, S. M., Monteiro, E. C. B., & Neto, A. A. de M. (2018). On the influence of sugarcane bagasse ashes as a partial replacement of cement in compressive strength of mortars. *Revista ALCONPAT*, 8(1), 30–37. <https://doi.org/10.21041/ra.v8i1.187>
12. Berenguer, R. A., Nogueira Silva, F. A., Barreto Monteiro, E. C., Lins, C. S., & Lima, A. (2016). Effect of sugarcane bagasse ash as partial replacement of cement on mortar mechanical properties. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21(14), 4577–4586.
13. Bouasria, M., Khadraoui, F., Benzaama, M., Touati, K., Chateigner, D., Orberger, B., Babouri, L., & El, Y. (2021). *Partial substitution of cement by the association of Ferronickel slags and Crepidula fornicata shells*. 33(March 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101587>
14. Bullard, J. W., Schweitzer, J., Scrivener, K. L., & Nonat, A. (2011). *Mechanisms of Cement Hydration*. December. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>
15. C270-10, A. (2010). *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry 1*. 1–14. <https://doi.org/10.1520/C0270-10>.
16. Câmara, E., Pinto, R. C. A., & Rocha, J. C. (2016). Setting process on mortars containing sugarcane bagasse ash. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 9(4), 617–629. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952016000400009>
17. Carvalho, C. M., Barbosa, N. P., Bezerra, U. T., & Simas, T. B. (2020). Red ceramic industry residues: Used to produce Portland cement. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00449. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00449>
18. Chu, D. C., Kleib, J., Amar, M., Benzerzour, M., & Abriak, N. (2021). *Determination of the degree of hydration of Portland cement using three different approaches : Scanning electron microscopy (SEM-BSE) and Thermogravimetric analysis (TGA)*. 15.
19. Chuan, P. L. B. (2014). *Effct of Saw-dust - Sea Shell powder mixture on compressive strength of cement mortar*. June.
20. Collin, B., Hernroth, B., & Ann-Sofi, R.-H. (2008). *Faecal Contaminants in Edible Bivalves from Maputo Bay , Mozambique : Seasonal Distribution , Pathogenesis and Antibiotic Resistance Faecal Contaminants in Edible Bivalves from Maputo Bay , Mozambique : Seasonal Distribution , Pathogenesis and Antibiotic*. January. <https://doi.org/10.2174/1874288200802010086>
21. De Paula, M. O. (2006). *Potencial Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar*. 1–60.

http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3535/texto_completo.pdf?sequence=1

22. Djobo, Y. J. N., Elimbi, A., Manga, J. D., & Li, I. B. D. (2016). Partial replacement of volcanic ash by bauxite and calcined oyster shell in the synthesis of volcanic ash-based geopolymers. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 113, 673–681. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.104>
23. Ez-zaki, H., El Gharbi, B., Diouri, A. (2018). Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders. *Construction and Building Materials*, 159, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.125>
24. Eziefula, U. G., Ezech, J. C., & Eziefula, B. I. (2018a). Properties of seashell aggregate concrete: A review Properties of seashell aggregate concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 192(March 2019), 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.096>
25. Eziefula, U. G., Ezech, J. C., & Eziefula, B. I. (2018b). Properties of seashell aggregate concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 192, 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.096>
26. Hart, A. (2020). Mini-review of waste shell-derived materials' applications. *Waste Management and Research*, 38(5), 514–527. <https://doi.org/10.1177/0734242X19897812>
27. Hasnaoui, A., Bourguiba, A., Mendili, Y. El, Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). A preliminary investigation of a novel mortar based on alkali-activated seashell waste powder. *Powder Technology*, 389, 471–481. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.05.069>
28. Her, S., Park, T., Zalnezhad, E., & Bae, S. (2021). Synthesis and characterization of cement clinker using recycled pulverized oyster and scallop shell as limestone substitutes. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123987>
29. Janković, B., Smičiklas, I., Manić, N., Mraković, A., Mandić, M., Veljović, Đ., & Jović, M. (2020). Thermochemical evolution and physico-chemical characterization of seashell waste for application in commercial sectors. *Thermochimica Acta*, 686(January), 178568. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178568>
30. Jović, M., Mandić, M., Šljivić-Ivanović, M., & Smičiklas, I. (2019). Recent trends in application of shell waste from mariculture. *Studia Marina*, 32(1), 47–62.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3274471>

31. Khalil, M., Aslam, M., & Ahmad, S. (2020). Utilization of sugarcane bagasse ash as cement replacement for the production of sustainable concrete – A review. *Construction and Building Materials*, xxxx, 121371. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121371>
32. Kilburn, R. N. (1983). *The Recent Arcidae (Mollusca : Bivalvia) of southern*. 25(2), 511–548.
33. Laskar, I. B., Rajkumari, K., Gupta, R., Chatterjee, S., Paul, B., & Rokhum, S. L. (2018). *Waste snail shell derived heterogeneous catalyst for biodiesel production by the transesterification of soybean oil*. 20131–20142. <https://doi.org/10.1039/c8ra02397b>
34. Lertwattanakul, P., Makul, N., & Siripattarapivat, C. (2012). Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering. *Journal of Environmental Management*, 111, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.032>
35. Marizane, K., Manhique, A., & Madivate, C. (2020). Comparative Study of the Effect of Ashes from Rice Husk , Sugarcane Bagasse and Corn Cob on Mortar Properties. *Asian Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.3923/ajmskr.2020.1.8>
36. MINISTÉRIO DO MAR, Á. I. E. P., & Boletim. (2017). *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura 2016-2017*.
37. Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Lee, S. C., Goh, W. I., & Yuen, C. W. (2018). Recycling of seashell waste in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 162, 751–764. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.009>
38. Mursyidah, Novrianti, Novriansyah, A., & Prasetya Utama, T. (2017). A study of cement additive from varied heating temperature of coconut shell charcoal to increase cement strength. *MATEC Web of Conferences*, 101. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710103005>
39. Murugesan, T., Bahurudeen, A., Vidjeapriya, R. (2020). Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and Construction Industries. *Sugar Tech*, 22(5), 858–869. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00794-2>
40. Murugesan, T., Vidjeapriya, R., & Bahurudeen, A. (2020). Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and

- Construction Industries. *Sugar Tech*, 22(5), 858–869.
<https://doi.org/10.1007/s12355-020-00794-2>
41. Namburete, S. (2014). *Renewable Energy Atlas of Mozambique-Resources and Projects for Power Generation*.
 42. Nassongole, B., Isabel, M., Victor, Q., & Manuel, M. (2016). *Biodiversidade de moluscos da zona entre-marés da cidade de Pemba (Moçambique)*.
 43. Nathan, L. S. (2018). *Incresing the Compressive in Concrete with Partial Replacement in Cement by Sea Shell Powder*.
 44. Nguyen, D. H., Boutouil, M., Sebaibi, N., Leleyter, L., & Baraud, F. (2013). Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers. *Construction and Building Materials*, 49, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.017>
 45. Olivia, M., Mifshella, A. A., & Darmayanti, L. (2015). Mechanical properties of seashell concrete. *Procedia Engineering*, 125, 760–764. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.127>
 46. Olivia, M., Oktaviani, R., & Ismeddiyanto. (2017). Properties of Concrete Containing Ground Waste Cockle and Clam Seashells. *Procedia Engineering*, 171, 658–663. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.404>
 47. Panda, K. C., Behera, S., & Jena, S. (2020). Effect of rice husk ash on mechanical properties of concrete containing crushed seashell as fine aggregate. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.049>
 48. Peceño, B., Alonso-fariñas, B., Vilches, L. F., & Leiva, C. (2021). Study of seashell waste recycling in fireproofing material : Technical , environmental , and economic assessment. *Science of the Total Environment*, 790, 148102. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148102>
 49. Pereira. M., G. P. . (2000). *Influence of Human Exploitation of Intertidal Mollusk Resources on the Selection and Utilisation of Gastropod Shells by the Hermit Crab*. September, 27–29.
 50. Pyron, M., & Brown, K. M. (2015). *Introduction to Mollusca and the Class Gastropoda*.
 51. Quedou, P., Wirquin, E., & Bokhoree, C. (2021). Case Studies in Construction Materials Sustainable concrete : Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00545. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00545>
 52. RECP, A.-E. R. E. C. P. (2017). *Renewables in Mozambique - National Status Report*

(Issue October).

53. Rollakanti, C., Siva, C. V., Prasad, R., Kumar, K., Marhoon, N., Al, J., & Arun, Y. V. (2020). Materials Today : Proceedings An experimental investigation on mechanical properties of concrete by partial replacement of cement with wood ash and fine sea shell powder. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.164>
54. Rungo, T. (2021). *Utilização de biomassa de cana-de-açúcar como fonte de energia renovável na tongaat hulett -açucareira de Moçambique s.a, distrito de Dondo, Moçambique. January.*
55. Safi, B., Saidi, M., Daoui, A., Bellal, A., Mechekak, A., & Toumi, K. (2015). The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM). *Construction and Building Materials*, 78, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.009>
56. Salimo, S., Marizane, K., Manhique, A., & Carvalho Madivate, A. (2021). *Compressive Strength of Industrial Sugar Cane Bagasse Ash Mortars.*
57. Seo, J. H., Park, S. M., Yang, B. J., & Jang, J. G. (2019). Calcined oyster shell powder as an expansive additive in cement mortar. *Materials*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/ma12081322>
58. Shakouri, M., Exstrom, C. L., Ramanathan, S., Suraneni, P., & Vaux, J. S. (2020). Pretreatment of corn stover ash to improve its effectiveness as a supplementary cementitious material in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 112(May), 103658. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103658>
59. Silva, A. P. G. (2017). Estudo do uso de resíduos de conchas de moluscos bivalves como agregado para produção de argamassa. *Dissertação (Mestrado) Apresentado Ao Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil e Ambiental Da Universidade Estadual de Feira de Santana*, 104.
60. Soltanzadeh, F., Emam-jomeh, M., Edalat-behbahani, A., & Soltan-zadeh, Z. (2018). Development and characterization of blended cements containing seashell powder. *Construction and Building Materials*, 161, 292–304. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.111>
61. Suarez-Riera, D., Merlo, A., Lavagna, L., Nisticò, R., & Pavese, M. (2020). Mechanical properties of mortar containing recycled *Acanthocardia tuberculata* seashells as aggregate partial replacement. *Boletin de La Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.03.011>

62. Sutton, J. (2014). *MAPA EMPRESARIAL DE MOÇAMBIQUE*. International Growth Centre.
63. Tayeh, B. A., Hasaniyah, M. W., Zeyad, A. M., Awad, M. M., Alaskar, A., Mohamed, A. M., & Alyousef, R. (2020). Durability and mechanical properties of seashell partially-replaced cement. *Journal of Building Engineering*, 31(March), 101328. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101328>
64. TERI. (2017). *CEMENT INDUSTRY; Trends Report*. 1–21. <http://www.teriin.org/library/files/Cement-Industry-Trends-Report2017.pdf>
65. Torres Agredo, Gutiérrezde, M., Giraldo, C., & Salcedo, G. (2014). Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement Caracterización. *ICMC 2012: Non-Cochlear Sound - Proceedings of the International Computer Music Conference 2012*, 34(1), 404–407.
66. Varma, M. B., & Gadling, P. (2016). Additive to Cement – A Pozzolanic Material-Fly Ash. *International Journal of Engineering Research*, 6890(5), 558–564. <https://doi.org/10.17950/ijer/v5i3/010>
67. Wan Mohammad, W. A. S. Bin, Othman, N. H., Wan Ibrahim, M. H., Rahim, M. A., Shahidan, S., & Rahman, R. A. (2017). A review on seashells ash as partial cement replacement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012059>
68. Wang, J., & Liu, E. (2020). Upcycling waste seashells with cement: Rheology and early-age properties of Portland cement paste. *Resources, Conservation and Recycling*, 155(December 2019), 104680. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104680>
69. Wang, J., Liu, E., & Li, L. (2019). Characterization on the recycling of waste seashells with Portland cement towards sustainable cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, 220, 235–252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.122>
70. Yamaguchi, K & Hashimoto, S. (2022). *Cold sintering of calcium carbonate derived from seashells*. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2022.100302>
71. Yuan, Q., Liu, Z., Zheng, K., & Ma, C. (2021). *Inorganic cementing materials*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822865-4.00002-7>

ANEXOS

Anexos A: Composição de argamassas produzidas pela substituição do cimento 42.5 N por CBC e argamassas de resíduos de conchas.

Tabela 9: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por CBCL calcinada a 900 °C por 2 horas

Cimento (g)	Designação	Teor de CBCL		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)		
450	CM	0	0	1350	225
427,5	5%CBCL	5	22,5		
405	10%CBCL	10	45		
382,5	15%CBCL	15	67,5		

Tabela 10: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por CBCI calcinada a 900 °C por 2 horas

Cimento (g)	Designação	Teor de CBCI		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)		
450	CM	0	0	1350	225
427,5	5%CBCI	5	22,5		
405	10%CBCI	10	45		
382,5	15%CBCI	15	67,5		

Tabela 11: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5N por resíduo de concha polynices mammilla (PM) calcinada a 1100 °C por 3 horas.

Cimento (g)	Designação	Teor de PM		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)		
450	CM	0	0	1350	225
427,5	5%PM	5	22,5		
405	10%PM	10	45		
382,5	15%PM	15	67,5		

Tabela 12: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por resíduo de concha anadara granosa (AG)

Cimento (g)	Designação	Teor de AG		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)		
450	CM	0	0	1350	225
427,5	5%AG	5	22,5		
405	10%AG	10	45		
382,5	15%AG	15	67,5		

Tabela 13: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N por resíduo de concha ennucula uruguayensis (EU)

Cimento (g)	Designação	Teor de EU		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)		
450	CM	0	0	1350	225
427,5	5%EU	5	22,5		
405	10%EU	10	45		
382,5	15%EU	15	67,5		

Tabela 14: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e PM

Cimento (g)	Designação	Teor de PM		Teor de CBCI		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)	(%)	(g)		
450	CM	0	0	0	0	1350	225
414	PM5CBC3	5	22.5	3	13.5		
405	PM5CBC5	5	22.5	5	22.5		
382.5	PM5CBC10	5	22.5	10	45		
391.5	PM10CBC3	10	45	3	13.5		
382.5	PM10CBC5	10	45	5	22.5		

Tabela 15: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e AG

Cimento (g)	Designação	Teor de AG		Teor de CBCI		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)	(%)	(g)		
450	CM	0	0	0	0	1350	225
414	AG5CBC3	5	22.5	3	13.5		
405	AG5CBC5	5	22.5	5	22.5		
382.5	AG5CBC10	5	22.5	10	45		
391.5	AG10CBC3	10	45	3	13.5		
382.5	AG10CBC5	10	45	5	22.5		

Tabela 16: Produção de argamassas substituindo o cimento 42.5 N pela mistura de CBCI e EU

Cimento (g)	Designação	Teor de EU		Teor de CBCI		Areia (g)	Água (ml)
		(%)	(g)	(%)	(g)		
450	CM	0	0	0	0	1350	225
414	EU5CBC3	5	22.5	3	13.5		
405	EU5CBC5	5	22.5	5	22.5		
382.5	EU5CBC10	5	22.5	10	45		
391.5	EU10CBC3	10	45	3	13.5		
382.5	EU10CBC5	10	45	5	22.5		

Anexo B: Resultados de resistência à compressão de argamassas com a substituição do cimento Portland 42.5N por de resíduos de conchas e da CBC após 28 dias de cura.

Tabela 17: Resistência à compressão de argamassas com a substituição do cimento 42.5N por resíduos de conchas, após 28 dias de cura

		Resistência à Compressão (MPa) após 28 dias de cura			
Tipo de Concha	Teor de aditivo	1	2	3	Média
100% Cimento	0	43.85	43.68	44.02	43.85
PM	5	45.8	45.83	45.92	45.85
	10	34.62	34.58	34.68	34.63
	15	26.97	27.64	28.31	27.64
AG	5	42.83	42.85	42.87	42.85
	10	34.07	34.6	35.19	34.62
	15	25.33	24.56	25.58	25.16
EU	5	38.25	39.3	38.45	38.67
	10	33.98	33.11	34.77	33.95
	15	31.96	31.9	31.94	31.93

Tabela 18: Resistência à compressão de argamassas com a substituição do cimento 42.5N por CBCI e CBCL, após 28 dias de cura

Tipo de CBC	Teor de aditivo	Resistência à Compressão (MPa) após 28 dias de cura			
		1	2	3	Média
100% Cimento	0	43.85	43.68	44.02	43.85
CBCI	5	40.46	38.82	43.8	41.03
	10	39.79	39.7	39.96	39.82
	15	35.6	35.08	36.14	35.61
CBCL	5	42.17	42.4	42.18	42.25
	10	38.36	39.29	40.1	39.25
	15	34.7	30.95	34.13	33.26

Anexo C: Resultados de resistência à compressão e flexão de argamassas com a substituição do cimento Portland 32.5N por de resíduos de conchas, após 7 e 28 dias de cura.

Tabela 19: Resistência à compressão e flexão de argamassas de 100% cimento 32.5N, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	26.98	33.45	5.21	6.73
2	25.15	36.76	5.34	6.76
3	24.72	34.81	5.27	6.81
4	26.79	32.84	-	-
5	25.83	33.23	-	-
6	26.94	33.61	-	-
Média	26.07	34.12	5.27	6.77

Tabela 20: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do cimento 32.5N por EU, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	23.38	29.76	4.99	6.35
2	23.31	29.39	4.92	6.72
3	23.42	28.93	4.86	6.27
4	23.64	27.94	-	-
5	23.15	28.36	-	-
6	23.35	29.17	-	-
Média	23.38	28.93	4.92	6.45

Tabela 21: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do cimento 32.5N por EU, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	15.68	23.72	4.15	6.93
2	16.41	26.68	4.37	6.45
3	17.97	25.93	4.29	6.78
4	16.14	25.34	-	-
6	15.93	26.15	-	-
6	17.14	26.41	-	-
Média	16.55	25.71	4.27	6.72

Tabela 22: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do cimento 32.5N por PM, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	27.14	35.92	5.5	6.82
2	25.08	33.18	6.01	6.91
3	26.91	34.83	5.75	6.79
4	26.84	35.14	-	-
5	25.75	34.39	-	-
6	26.38	33.85	-	-
Média	26.35	34.55	5.75	6.84

Tabela 23: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do cimento 32.5N por PM, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	21.87	31.33	4.78	6.49
2	23.10	30.19	4.51	6.73
3	21.44	30.28	4.74	6.69
4	22.35	30.24	-	-
5	23.42	28.47	-	-
6	21.17	29.93	-	-
Média	22.23	30.07	4.68	6.64

Tabela 24: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 5% do CM32.5N por AG, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	22.51	31.06	4.75	7.13
2	22.62	31.41	4.97	7.01
3	22.45	31.63	4.84	7.04
4	22.48	32	-	-
5	22.69	31.93	-	-
6	22.54	31.86	-	-
Média	22.55	31.65	4.85	7.06

Tabela 25: Resistência à compressão e flexão de argamassas com substituição de 10% do CM32.5N por AG, após 7 e 28 dias de cura

Numero	Resistência à compressão		Resistência à flexão	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1	21.21	31.91	5.16	7.24
2	20.41	30.83	4.8	7.15
3	21.14	30.64	4.93	7.36
4	21.4	30.78	-	-
5	20.85	30.47	-	-
6	20.63	30.89	-	-
Média	20.94	30.92	4.96	7.25