



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Licenciatura

**Análise e Viabilidade da Aplicação do Betão Auto-Compactável (BAC) em  
Moçambique**

CARLOS DIONÍSIO CHIZIANE

**Supervisor:**

Doutor Aurélio Sine, Eng.

Maputo, Dezembro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Licenciatura

**Análise e Viabilidade da Aplicação do Betão Auto-Compactável (BAC) em  
Moçambique**



CARLOS DIONÍSIO CHIZIANE

**Supervisor:**

Doutor Aurélio Sine, Eng.

Maputo, Dezembro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante Carlos Dionísio Chiziane entregou no dia \_\_/\_\_/2025 as \_\_  
cópias do relatório do seu trabalho de Licenciatura com a Referência: \_\_\_\_\_  
Intitulado: Análise e Viabilidade da Aplicação do Betão Auto-Compactável (BAC) em  
Moçambique

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2025

A Chefe de Secretaria

---

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha mãe, pelo amor,  
apoio e incentivo. Que eu possa alegrar o seu coração  
com o desfecho deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me guiar, por ter me ajudado a enfrentar todas as dificuldades que enfrentei ao longo dos meus estudos.

À minha mãe, Júlia Muaga, por ter me apoiado e de várias maneiras nessa jornada, pelos sacrifícios que ela fez, pela paciência e por acreditar em mim. Agradeço igualmente às minhas irmãs Érica Chiziane e Amélia Chiziane pela companhia e por serem uma benção para mim. Agradeço à toda minha família que directa ou indirectamente me apoiaram.

À minha namorada Otília Frederico, por me acompanhar, apoiar e incentivar nos meus estudos, por me ajudar a passar por cada desafio e por me inspirar, minha fonte de inspiração e de alegria.

Ao meu supervisor Eng. Aurélio Sine pela paciência, força, atenção e pronta disposição em procurar soluções sempre que problemas foram se apresentando durante a realização do trabalho.

Ao Eng. Nelson Muchave pela facultaçao de dados do betão convencional e por pela sua disponibilidade.

Ao meu amigo e colega Énio Ntambalica, por ser uma das pessoas mais presentes na minha formação e por me ajudar nos “googles”, sua contribuição foi indispensável nessa jornada.

Aos meus colegas e companheiros da faculdade, em especial ao Iohane Pilianga, sua presença nessa jornada foi inestimável.

À *ACTS International MZ*, por me receber, me formar e auxiliar nos ensaios laboratoriais e no fornecimento de materiais e equipamentos usados nesse relatório, em especial ao Eng. Omran Aboughoush e a toda equipe técnica em especial ao Salomão, Calado, Elias, Edmilson e Alexandre.

## RESUMO

O Betão Auto-Compactável (BAC) representa uma das mais relevantes inovações tecnológicas no sector da construção civil, destacando-se pela sua elevada trabalhabilidade, capacidade de fluir e preencher formas complexas sem necessidade de vibração mecânica. Essa característica possibilita ganhos expressivos na qualidade de execução, redução de defeitos de compactação, menor consumo de mão-de-obra e maior durabilidade das estruturas.

Este trabalho teve como finalidade analisar a viabilidade da aplicação do BAC no contexto moçambicano, abordando suas propriedades fundamentais, vantagens, aplicabilidade e proporções usuais de constituintes. Para atingir este propósito, foram realizados dois inquéritos: o primeiro, direccionado à engenheiros, técnicos e outros profissionais da construção civil, com o objectivo de aferir o nível de conhecimento e experiência prática no uso do BAC; e o segundo, direccionado às centrais de betão, a fim de identificar a frequência de requisição, disponibilidade de produção e principais dificuldades relacionadas ao fabrico deste material.

Complementarmente, foram conduzidos ensaios laboratoriais para avaliar a possibilidade de produção de uma mistura auto-compactável com materiais disponíveis localmente. A metodologia adoptada baseou-se no método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin, iniciando-se com a caracterização dos agregados (granulometria, massa específica, absorção de água, baridade, lameridade e alongação). Seguidamente, foram preparados e testados betões para verificação das propriedades auto-compactáveis através dos ensaios de espalhamento (*slump-flow*), tempo T500 e J-Ring. Por fim, foram moldados corpos de prova para determinação da resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de forma a caracterizar o desempenho mecânico do BAC produzido.

**Palavras-chave:** Betão auto-compactável (BAC), Dosagem Tutikian e Dal Molin, Construção civil em Moçambique.

## **ABSTRACT**

Self-compacting concrete (SCC) represents one of the most significant technological innovations in the construction sector, standing out for its high workability, ability to flow and fill complex forms without the need for mechanical vibration. This characteristic enables substantial improvements in execution quality, reduction of compaction defects, lower labor requirements, and increased structural durability.

This study aimed to analyze the feasibility of applying SCC in the Mozambican context, addressing its fundamental properties, advantages, applications, and typical proportions of constituents. To achieve this goal, two surveys were conducted: the first targeted engineers, technicians, and other construction professionals to assess their level of knowledge and practical experience with SCC; the second was aimed at concrete batching plants to identify the frequency of requests, production availability, and main challenges related to the manufacturing of this material.

Additionally, laboratory tests were carried out to evaluate the possibility of producing an SCC mixture using locally available materials. The adopted methodology was based on the mix design method proposed by Tutikian and Dal Molin, starting with the characterization of aggregates (particle size distribution, specific gravity, water absorption, bulk density, flakiness and elongation index). Subsequently, concrete mixes were prepared and tested to verify their self-compacting properties through slump-flow, T500 time, and J-Ring tests. Finally, test specimens were molded to determine compressive strength at 3, 7, and 28 days, in order to assess the mechanical performance of the produced SCC.

**Keywords:** Self-Compacting Concrete (SCC); Tutikian and Dal Molin mix design; Civil construction in Mozambique.

## ÍNDICE

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objectivos .....	1
1.2 Metodologia.....	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Breve Historial.....	4
2.1.1 Japão.....	4
2.1.2 Europa.....	4
2.2 Conceito de Betão Auto-Compactável.....	5
2.3 Vantagens e Desvantagens do Uso do BAC .....	5
2.3.1 Vantagens do uso do BAC.....	6
2.3.2 Desvantagens do uso do BAC .....	7
2.4 Critérios Técnicos e Operacionais Para a Aplicação do BAC.....	7
2.5 Propriedades do BAC .....	9
2.5.1 Propriedades do BAC no estado fresco .....	9
2.5.2 BAC no estado endurecido .....	11
2.6 Materiais Constituintes do BAC .....	11
2.6.1 Agregados.....	11
2.6.2 Granulometria .....	12
2.6.3 Adjuvante.....	13
2.6.4 Cimento .....	13
2.6.5 Adições Minerais .....	13
2.6.6 Água.....	14
2.7 Classificação geral para o BAC .....	14

2.7.1	BAC do tipo finos .....	14
2.7.2	BAC do tipo agentes de viscosidade .....	15
2.7.3	BAC do tipo combinação .....	16
2.8	Ensaio para o controle de trabalhabilidade .....	16
2.8.1	Ensaio de Espalhamento ( <i>slump flow test</i> ).....	17
2.8.2	Ensaio de espalhamento T <sub>500</sub> ( <i>Slump flow T<sub>500</sub> test</i> ) .....	19
2.8.3	Ensaio do Anel-J ( <i>J-Ring test</i> ).....	20
2.8.4	Ensaio do Funil - V ( <i>V funnel test</i> ) .....	20
2.8.5	Orimet test.....	21
2.8.6	Ensaio da caixa L ( <i>L - box test</i> ) .....	22
2.8.7	Ensaio na caixa U ( <i>U-box test</i> ) .....	23
2.8.8	Ensaio do tubo U ( <i>U-shaped pipe test</i> ).....	24
2.9	Métodos de Dosagem do BAC .....	26
2.9.1	Método de dosagem de Tutikian e Dal Molin .....	27
2.9.2	Escolha dos materiais .....	28
2.9.3	Determinação do esqueleto granular.....	28
2.9.4	Determinação da relação água/cimento ou teor do adjuvante superplastificante .....	30
2.9.5	Mistura dos traços rico, intermediário e pobre .....	30
2.9.6	Ensaio das propriedades mecânicas e de durabilidade nas idades determinadas .....	30
2.9.7	Desenho dos diagramas de dosagem e desempenho .....	30
3	APLICAÇÃO DO BAC EM MOÇAMBIQUE .....	32
3.1	Resultado do inquérito feito à profissionais da construção civil.....	32
3.2	Resultado do inquérito feito às centrais de betão .....	34
3.3	Estudo Experimental.....	36
3.3.1	Planeamento.....	36
3.3.2	Materiais usados.....	37
3.3.3	Ensaio de caracterização dos agregados .....	37
3.3.4	Definição e ajuste do traço.....	43
3.3.5	Ensaio de resistência à compressão.....	48
3.3.6	Conclusão do experimento.....	51
3.4	Análise Comparativa entre o BAC e BC.....	52
3.4.1	Diferença entre o BAC e o BC na fase de produção .....	53
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	59
4.1	Recomendações .....	59
4.2	Desenvolvimentos Futuros .....	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

Livros, Artigos e Dissertações.....	61
Normas e Especificações .....	64
ANEXOS .....	67

## **LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

<b>Símbolos</b>	<b>Definição</b>
-----------------	------------------

%A	Fracção do material A na mistura
%B	Fracção do material B na mistura
$\gamma_i$	Gradiente de velocidade
$\mu'$	Viscosidade plástica
$\tau_0$	Tensão de cedência
$\gamma_a$	Massa específica do agregado miúdo, em kg/dm <sup>3</sup>
$\gamma_c$	Massa específica do cimento, em kg/dm <sup>3</sup>
$\gamma_f$	Massa específica dos finos não-Tensão, em kg/dm <sup>3</sup>
$\gamma_p$	Massa específica do agregado graúdo, em kg/dm <sup>3</sup>
A	Consumo de água potável por metro cúbico de betão compactado, em kg/m <sup>3</sup>
a	Relação agregado miúdo seco / cimento em massa, em kg/kg
a/c	Relação água / cimento em massa, em kg/kg
ar	Teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
C	Consumo de cimento por metro cúbico de betão compactado, em kg/m <sup>3</sup>
c	Relação cimento / cimento em massa, em kg/kg
D1	Maior diâmetro da expansão circular do betão
D2	Diâmetro da expansão circular do betão num ângulo aproximadamente perpendicular a D1
f	Relação fino/cimento em massa, em kg/kg
fcj	Resistência à compressão axial, à idade j, em MPa
H1	Altura do betão remanescente do trecho vertical da Caixa-L
H2	Altura do betão no final do trecho horizontal da Caixa-L

$k_i$	Constantes que dependem exclusivamente dos materiais (cimentos, adições, agregados, adjuvantes)
$l$	Largura do agregado;
$L$	Comprimento do agregado
$m$	Relação agregados secos / cimento em massa, em kg/kg
$M_{espA}$	Massa específica do material A
$M_{espB}$	Massa específica do material A
$M_{unitAB}$	Massa unitária da mistura dos materiais A e B
$p$	Relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg
P1, P2, P3	Massas dos agregados de referência
Pa	Pascal
$T_{20}$	Tempo que o betão avança 200 mm na caixa L
$T_{40}$	Tempo que o betão avança 400 mm na caixa L
$s$	Segundos
$S$	Espessura do agregado
SP%	Dosagem de adjuvante superplastificante, em kg/m <sup>3</sup>
$V$	Teor de vazios presentes na mistura
$\eta$	Constante de viscosidade
$\tau$	Tensão de corte
$Kg/m^3$	Quilograma por metro cúbico
$MPa$	Mega pascal
$f_{ck,j}$	Valor característico da tensão de roptura do betão à compressão aos j dias de idade
$g/cm^3$	Gramas por centímetro cúbico

<i>g</i>	grama
<i>kg</i>	Quilograma
$\alpha$	Teor de argamassa seca, em kg/kg;
$\gamma$	Massa específica do betão, medida no canteiro em kg/m <sup>3</sup> ;

### **Siglas e acrónimos**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ACI</i>	<i>American Concrete Institute</i>
<i>ACTS</i>	<i>Advanced Construction Technology Services</i>
<i>ASTM</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BAC	Betão Auto-Compactável
BC	Betão Convencional
<i>BS</i>	<i>British Standard</i>
CP	Corpo de prova
<i>HRWRA</i>	<i>High range water reducing admixtures</i>
IEV	Índice de Estabilidade Visual
<i>ICAR</i>	<i>Internatinal Center For Aggregates Reseach</i>
LEM	Laboratório de Engenharia de Moçambique
MSFC	Melamina sulfonato-formaldeído
MZN	Metical, Moeda nacional moçambicana
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadas
NSFC	Condensados de naftaleno sulfonato-formaldeído
RS	Resistência a segregação
SCC	<i>Self-Compacting Concrete</i>
SP	Super plastificantes
SSS	Superfície seca e saturada

VMA

*Viscosity-modifying admixture*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Betão Auto-Compactável passando por armaduras. ....	5
Figura 2. Processo Construtivo Racional para o pleno aproveitamento do desempenho do BAC. ....	7
Figura 3. Exemplos de situações que necessitam o uso de BAC. ....	8
Figura 4. Vazios e recobrimento inadequado das armaduras no betão tradicional. ....	8
Figura 5. Melhoria da característica auto-compactável controlando o volume dos constituintes. ....	15
Figura 6. Melhoria da característica auto-compactável com um agente de viscosidade. ....	15
Figura 7. Slump Flow Test. ....	17
Figura 8. BAC sem segregação. ....	18
Figura 9. BAC com segregação visível. ....	18
Figura 10. Formato e dimensões do equipamento Funil – V. ....	20
Figura 11. Ensaio Orimet com verificação da resistência à segregação do BAC através de duas barras perpendiculares   Ensaio Orimet em conjunto com o anel-j. ....	21
Figura 12. Medidas da caixa L (L-box) e movimento do BAC no seu interior. ....	23
Figura 13. Medidas da caixa - U e movimento do BAC no seu interior. ....	24
Figura 14. Ilustração do Tubo U e suas dimensões. ....	25
Figura 15. Passo a passo para dosagem de BAC com o método de Tutikian e Dal Molin. ....	27
Figura 16. Percentagem de profissionais que já usaram o BAC em alguma obra ou projecto. ....	33
Figura 17. Quantidade de BAC em relação ao BC produzida nas centrais. ....	35
Figura 18. Processo de peneiramento do agregado. ....	37
Figura 19. Curvas granulométricas dos agregados. ....	39
Figura 20. Processo do ensaio de baridade. ....	39
Figura 21. Procedimento da determinação da massa específica e absorção. ....	40
Figura 22. Processo de secagem da superfície dos agregados e pesagem dos agregados na água. ....	41
Figura 23. Realização do ensaio do índice de lamelação. ....	42
Figura 24. Realização do ensaio do índice de alongamento. ....	43
Figura 25. Medição do teste de espalhamento (Slump Flow). ....	47
Figura 26. Aspecto visual do betão da família 4 no ensaio de espalhamento. ....	47
Figura 27. Amostra de betão passando por armaduras no teste de J-ring. ....	48
Figura 28. Fabrico de corpos de prova do BAC. ....	49
Figura 29. Ensaio da resistência à compressão do BAC. ....	49
Figura 30. Resistência à compressão x Razão a/c. ....	51
Figura 31. Valores de m x razão a/c. ....	51
Figura 32. Relação entre custo de produção e resistência à compressão (BAC vs BC). ....	56

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Ensaio Para a Avaliação da Trabalhabilidade do BAC. Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008) ....	16
Tabela 2. Valores do Índice de Estabilidade Visual (VSI). ....	18
Tabela 3. Limites dos resultados para o ensaio de espalhamento, segundo alguns pesquisadores. ....	18
Tabela 4. Limites dos resultados para o espalhamento $T_{500}$ , segundo alguns pesquisadores. ....	19
Tabela 5. Limites dos resultados do ensaio do funil -V, segundo alguns pesquisadores. ....	21
Tabela 6. Limites dos resultados do ensaio Orimet, segundo alguns pesquisadores. ....	22
Tabela 7. Limites dos resultados do ensaio da caixa L, segundo alguns pesquisadores. ....	23

Tabela 8. Limites dos resultados para o ensaio da caixa U, segundo alguns pesquisadores.....	24
Tabela 9. Motivo da escolha do BAC.....	33
Tabela 10. Quantidade de betão mensal produzida por cada central.....	34
Tabela 11. Percentagem acumulada retida e percentagem passada dos agregados.....	38
Tabela 12. Resultados do teste de baridade dos agregados.....	40
Tabela 13. Resultados do teste de densidade relativa e absorção do agregado miúdo.....	41
Tabela 14. Resultados do teste de densidade relativa e absorção do agregado graúdo.....	42
Tabela 15. Resultados do ensaio de Índice de lamelação e alongamento.....	43
Tabela 16. Ensaio de compacidade entre a brita 19 mm e a brita 12,5 mm.....	44
Tabela 17. Ensaio de compacidade entre a brita 19 mm, a brita 12,5 mm e a areia.....	44
Tabela 18. Traços unitários do BAC com areia grossa empacotado com 2 britas.....	45
Tabela 19. Consumos de materiais calculados para o BAC (kg/m <sup>3</sup> ).....	46
Tabela 20. Resultado do ensaio de espalhamento.....	47
Tabela 21. Resultado dos ensaios para verificar as propriedades do BAC.....	48
Tabela 22. Resultados das propriedades no estado endurecido.....	49
Tabela 23. Equações de comportamento e R <sup>2</sup> para os BAC ensaiados.....	50
Tabela 24. Ajuste da resistência de provetes cúbicos para cilíndricos.....	53
Tabela 25. Comparação da composição do BAC e BC. (*19mm para BAC e 25mm para BC) ..	54
Tabela 26. Custos unitários dos materiais constituintes.....	55
Tabela 27. Custo de produção por dosagem e resistência aos 28 dias.....	56
Tabela 28. Estimativa de custos de produção para resistências usuais.....	57
Tabela A.5. 1. Granulometria dos agregados (% que passa nos peneiros) .....	1
Tabela A.5. 2. Massas volúmicas e absorção de água e baridade dos agregados no estado seco (kg/m <sup>3</sup> ).....	2
Tabela A.5. 3. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros .....	4
Tabela A.5. 4. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 32MPa .....	4
Tabela A.5. 5. Granulometria dos agregados (% que passa nos peneiros) .....	5
Tabela A.5. 6. Massas volúmicas e absorção de água e baridade dos agregados no estado seco (kg/m <sup>3</sup> ).....	5
Tabela A.5. 7. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros .....	7
Tabela A.5. 8. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 43 MPa.....	8
Tabela A.5. 9. Granulometria dos agregados – Percentagem (%) que passa nos peneiros .....	8
Tabela A.5. 10. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros.....	10
Tabela A.5. 11. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 48 MPa.....	11

## 1 INTRODUÇÃO

Embora o betão seja o material de construção mais utilizado no mundo, actualmente não se pode mais considerar apenas o estudo de Betões Convencionais (BC). O mercado e as técnicas construtivas exigem betões que apresentem características especiais, como os betões de alta resistência, de alto desempenho, auto-compactáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos e sustentáveis, entre outros. Para suprir essa demanda, um avanço na área da tecnologia de betão tem ocorrido nas últimas décadas. Dentro desse contexto, foi desenvolvido no Japão, em 1988, o Betão Auto-Compactável (BAC), que é capaz de se moldar nas formas por conta própria e preencher, sem necessidade nenhuma de vibração ou compactação externa de qualquer natureza, os espaços destinados a ele.

O desenvolvimento do BAC surgiu como resposta à necessidade de melhorar a qualidade e eficiência das construções, especialmente em estruturas de geometria complexa e zonas de difícil acesso.

Apesar das vantagens evidentes, o BAC ainda é pouco utilizado em muitos países africanos, incluindo Moçambique, devido à falta de conhecimento técnico, limitações de equipamentos e desafios na dosagem com materiais locais.

Entretanto, a produção e aplicação do BAC exigem um conhecimento específico quanto às suas propriedades, dosagem e controlo de qualidade, o que pode representar um desafio em países em desenvolvimento, como Moçambique. Assim, torna-se essencial avaliar o nível de conhecimento, disponibilidade de materiais e viabilidade prática para sua implementação no contexto local.

### 1.1 Objectivos

O presente trabalho tem como **objectivo principal** , considerando aspectos de conhecimento técnico, produção em centrais bem como as suas vantagens e aplicações.

Com vista a alcançar o objectivo principal, definiram-se os seguintes **objectivos específicos**:

- Investigar o nível de conhecimento e uso do BAC entre profissionais da construção civil em Moçambique;

- Avaliar o nível de requisição e as principais dificuldades de produção do BAC nas centrais de betão;
- Caracterizar os materiais disponíveis em Moçambique e verificar sua adequação à produção de BAC;
- Aplicar o método de dosagem de Tutikian e Dal Molin para desenvolver uma mistura auto-compactável com materiais locais;
- Realizar ensaios laboratoriais para verificar as propriedades auto-compactáveis e a resistência mecânica do BAC produzido;
- Comparar o desempenho, dosagem e custo do BAC com o BC na fase de produção.

## 1.2 Metodologia

Com vista a alcançar os objectivos propostos, definiu-se a seguinte metodologia:

### 1. Revisão bibliográfica

Como primeira etapa, foram colectadas informações teóricas pertinentes para alcançar os objectivos outrora delineados, obtidas por meio de livros, artigos científicos e portais de pesquisa na internet, com o propósito de fundamentar a investigação e fornecer um contexto ao tema abordado.

### 2. Levantamento de dados por inquérito:

- **Inquérito 1:** Aplicado a engenheiros, técnicos e outros profissionais da área de construção civil para avaliar o nível de conhecimento sobre o BAC e sua utilização em obras.
- **Inquérito 2:** Direccionado às centrais de betão, com o objectivo de identificar a frequência de requisição do BAC, bem como as principais dificuldades de produção e fornecimento.

### 3. Ensaio de caracterização de materiais:

- Determinação das propriedades físicas dos agregados (granulometria, massa específica, absorção de água, etc.) para verificar a sua conformidade com os requisitos do BAC.

### 4. Produção e ensaios do BAC:

- Dosagem do BAC segundo o método proposto por Tutikian e Dal Molin, utilizando materiais locais.
- Ensaios de verificação das propriedades auto-compactáveis:
- Moldagem de provetes e realização de ensaios de resistência à compressão em diferentes idades (3, 7 e 28 dias).

### 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se organizado em capítulos, onde no **primeiro capítulo**, apresenta-se a introdução, os objectivos e a metodologia utilizada.

No **segundo capítulo**, faz-se uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, começando por um breve historial do surgimento do BAC. Em seguida, aborda-se o conceito, as vantagens e desvantagens, a definição de suas propriedades, os materiais utilizados e os ensaios realizados para controlo da trabalhabilidade. Por fim, apresenta-se o método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin.

No **terceiro capítulo**, é realizado um estudo sobre a aplicação do BAC em Moçambique, com base nos resultados dos inquéritos e nos ensaios laboratoriais dos materiais e do BAC fabricado.

Apresenta-se igualmente uma análise comparativa entre o BAC e o BC, sendo essencialmente analisado suas diferenças na fase de produção e os seus respectivos custos.

Finalmente, no **quarto capítulo**, são apresentadas as considerações relativas ao estudo efectuado e aos resultados obtidos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Breve Historial**

Para Goodier (2003) a história e o desenvolvimento do BAC podem ser divididos em duas etapas principais: seu desenvolvimento inicial em Japão, no final da década de 1980, e sua subsequente introdução na Europa, através da Suécia, em meados e no final da década de 1990.

#### **2.1.1 Japão**

O BAC foi desenvolvido no Japão em 1988 com o objectivo de produzir estruturas de betão mais duráveis, eliminando a necessidade de compactação por vibração e, assim, evitando defeitos como a formação de vazios. Além da melhoria na durabilidade, o BAC trouxe benefícios económicos, sociais e ambientais, como a redução de ruído no canteiro de obras e menor dependência de mão de obra qualificada, um factor importante diante da escassez de operários especializados no Japão naquela época (Goodier, 2003).

A tecnologia foi inspirada em betões de alta trabalhabilidade e usados debaixo da água, que já exigiam maior coesão. As primeiras publicações sobre o tema surgiram entre 1989 e 1991, com destaque para um artigo de 1992 da Universidade de Tóquio, que descreveu um betão com as propriedades fundamentais do BAC, mesmo sem utilizar este nome. Nos anos seguintes, vários estudos e aplicações práticas surgiram, incluindo casos de uso em campo (Goodier, 2003).

#### **2.1.2 Europa**

O interesse europeu pelo BAC começou na segunda metade dos anos 1990, após sua introdução no Japão. A Suécia liderou a adopção, com seminários e projectos práticos organizados a partir de 1993. Um marco importante foi o projecto europeu Brite-EuRam (1997–2000), que visava desenvolver um sistema de produção sem vibração, com foco em reduzir os custos gerais da construção in loco. A Suécia também realizou pesquisas com a autoridade rodoviária nacional para construção de pontes, concluindo a primeira ponte totalmente moldada com BAC fora do Japão em 1998. Essas experiências mostraram que o BAC pode apresentar propriedades superiores ao betão convencional, como maior resistência à compressão, menor permeabilidade e melhor aderência à

armadura. Também foi possível verificar reduções de até 15% no custo de construção de pontes, além de menores emissões de gases do efeito estufa. O primeiro grande evento europeu sobre BAC foi o Simpósio Internacional da RILEM em Estocolmo, em 1999, com ampla participação internacional, sinalizando o crescente interesse pelo material no continente (Goodier, 2003).

## 2.2 Conceito de Betão Auto-Compactável

A Norma Americana ASTM C125-15a (2015) define Betão Auto-Compactável (BAC) como o betão que pode fluir em torno da armadura e compactar-se sob seu próprio peso sem esforço adicional e sem exceder os limites de segregação especificados.

A Norma Brasileira ABNT NBR 15823-1 (2017), aplicada ao BAC, o define como betão que é capaz de fluir, auto-compactar pelo peso próprio, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, ductos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.



*Figura 1. Betão Auto-Compactável passando por armaduras.*

*Fonte: Manolia (2019)*

## 2.3 Vantagens e Desvantagens do Uso do BAC

Como qualquer material, o BAC pode representar uma vantagem quando utilizado na aplicação correcta. Para identificar se um cenário é mais favorável, é necessário conhecer bem as vantagens e desvantagens do material. As vantagens e desvantagens a seguir foram identificadas de acordo com a abordagem de autores como Schutter et al. (2008), Naik et al. (2011), Maharashtra Engineering Research Institute (2019) e Malherbe (2015). Algumas vantagens e desvantagens são específicas de cada caso, cabendo à equipe do projecto determinar quais são aplicáveis.

### 2.3.1 Vantagens do uso do BAC

- Maior velocidade de construção, como a economia de 20% no tempo da Ponte Akashi-Kaikyo;
- Redução de custos devido à menor necessidade de mão de obra;
- Economia adicional com mão de obra secundária devido ao cronograma acelerado do projecto;
- Maior produtividade no canteiro de obras;
- Melhor qualidade e acabamento estético mais fácil de atingir;
- Maior durabilidade estrutural devido à melhor compactação;
- Melhor desempenho do projecto arquitectónico/estrutural;
- A responsabilidade pela qualidade do betão pode ser transferida ao fornecedor (em caso de betão usinado);
- Menores níveis de ruído na obra;
- Menor geração de poeira pela ausência de vibração do betão;
- Menor desgaste das cofragens, pois não há vibração;
- Ambiente de trabalho mais seguro;
- Permite *designs* inovadores e formas complexas;
- Maior resistência à tracção;
- Superfície mais lisa e melhor estética;
- Eliminação de problemas associados à vibração;
- Requer menos mão de obra e é menos desgastante de aplicar;
- Capacidade de preencher secções com armação densa com facilidade;
- Redução da permeabilidade.

A utilização de BAC permite aperfeiçoar bastante o processo construtivo. Como é do conhecimento geral, a compactação conseguida convencionalmente à custa da vibração, pode facilmente causar segregação, e isto tem sido um impedimento para a racionalização do processo construtivo. Uma vez ultrapassado este obstáculo, pode caminhar-se para a racionalização da construção em betão podendo ser desenvolvido um novo sistema construtivo, incluindo a cofragem, armadura e a própria concepção estrutural (Nunes, 2001). A Figura 2 que ilustra um esquema, proposto por Okamura e Ouchi (1999) traduz isso.

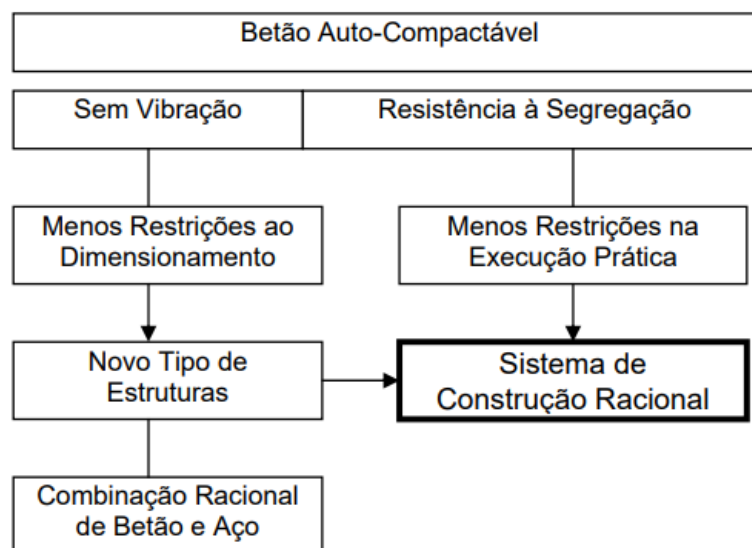


Figura 2. Processo Construtivo Racional para o pleno aproveitamento do desempenho do BAC.

Fonte: (Nepomuceno, 2005)

### 2.3.2 Desvantagens do uso do BAC

- Requisitos mais rigorosos na selecção dos materiais;
- Mais caro que o BC com base no custo dos materiais (excepto no custo de aplicação);
- Exige mais lotes de teste em laboratório e em centrais de produção;
- Necessidade de medição e monitoramento mais precisos dos materiais constituintes;
- Menor módulo de elasticidade e maior retracção total comparado ao BC;
- Necessita de cofragens estanques e bem projectadas devido à fluidez;
- Sensível à quantidade de água, exige controlo rigoroso da humidade dos materiais;
- Maior sensibilidade à fissuras por retracção, devido ao maior teor de finos.

### 2.4 Critérios Técnicos e Operacionais Para a Aplicação do BAC

O BAC em relação ao BC tem suas vantagens e também desvantagens, deve-se então avaliar em quais situações é necessário escolher o BAC.

A Maharashtra Engineering Research Institute (2019) aborda os seguintes pontos como base da escolha do BAC:

- O BAC é considerado uma opção preferencial devido às suas conhecidas propriedades de fluidez, capacidade de passagem e compacidade.
- Ideal para reparos de betão, especialmente em locais com espaços estreitos.
- Armaduras congestionadas, betonagens secundárias de comportas, formas complicadas de elementos de betão tornam necessária a utilização do BAC

A Figura 3 mostra um exemplo de casos elementos fortemente armados, da esquerda para direita: (a) Paredes de betão, (b) colunas na estação Paddington da Crossrail e (c) Paredes na estação Bond Street da Crossrail.



*Figura 3. Exemplos de situações que necessitam o uso de BAC.*

*Fonte: Sfikas (2017)*

O não uso de BAC nesses casos, pode causar vários problemas à curto ou longo prazo, para além da dificuldade de vibrar o betão, isso pode causar várias patologias futuras como ilustrado na Figura 4.



*Figura 4. Vazios e recobrimento inadequado das armaduras no betão tradicional.*

*Fonte: Sfikas (2017)*

Uma análise de 11 anos de estudos de casos mostrou que, de 51 estudos, os seguintes motivos foram dados para usar o BAC (Domone P. L., 2006):

- 67% dos casos - o BAC apresentou vantagens técnicas sobre o BC;
- 14% - o benefício económico foi o motivo para usar BAC;
- 10% - o BAC foi usado em uma forma inovadora de construção, como compósitos de aço-betão, seções finas ou unidades pré-fabricadas;
- Os 9% restantes tiveram motivos pouco claros ou não declararam nenhum motivo.

## **2.5 Propriedades do BAC**

### **2.5.1 Propriedades do BAC no estado fresco**

As propriedades apresentadas pelo BAC no estado fresco são a sua principal característica e o que o distingue claramente de um BC (Silva & Brito, 2009).

Segundo Schutter et al. (2008) para a obtenção dessa “autocompactibilidade” o betão deve apresentar três propriedades essenciais:

- Capacidade de preenchimento;
- Resistência à segregação;
- Capacidade de passagem.

Níveis adequados dessas três propriedades devem ser alcançados para que o betão fresco seja auto-compactável e permaneça assim durante o transporte e lançamento por meios seleccionados em determinadas condições.

#### **2.5.1.1 Capacidade de preenchimento**

A capacidade de preenchimento é a habilidade da mistura fresca de fluir sob seu próprio peso e preencher completamente todos os espaços na cofragem. É a característica frequentemente referida como ‘fluxo’ ou ‘fluidez’. Ela indica até onde uma mistura do BAC pode fluir e quão bem preencheria cofragens e espaços de vários graus de complexidade. A capacidade de preenchimento também governa a ‘autocompactibilidade’. Para que a capacidade de preenchimento seja alta o suficiente, a mistura deve ser fluida o bastante para permitir que qualquer ar introduzido no processo

de mistura, ou preso durante a colocação, escape e deixe para trás um betão adequadamente compactado (Schutter et al., 2008).

Silva e Brito (2009) referem ainda que para se atingir uma adequada capacidade de escoamento / preenchimento, devem ser tomadas as seguintes acções:

- Aumentar a deformabilidade da pasta:
  - i) adjuvantes superplastificantes;
  - ii) equilíbrio da razão (água) / (materiais finos);
- Reduzir o atrito entre as partículas:
  - i) baixo volume de agregados grossos (grande quantidade de pasta);
  - ii) distribuição óptima dos finos relativamente aos agregados e cimento usado.

#### **2.5.1.2 Capacidade de passagem**

Capacidade de passagem é a capacidade do BAC fluir por aberturas estreitas, como os espaços entre as armaduras aço (Hameed , 2005). Para Schutter et al. (2008) a determinação da capacidade de passagem ajuda a avaliar o risco de que o fluxo da mistura fresca seja prejudicado ou até bloqueado por agregados graúdos, que podem se prender ou formar arcos entre barras ou dentro de passagens ou aberturas estreitas.

Segundo Silva e Brito (2009) para se atingir uma adequada capacidade de passagem, devem ser tomadas as seguintes acções:

- Melhorar a coesão para reduzir a segregação do agregado:
  - i) baixa razão água / materiais finos;
  - ii) usar um agente de viscosidade;
- Compatibilizar as características das aberturas e dos agregados grossos:
  - i) baixar o volume de agregados grossos;
  - ii) baixar a máxima dimensão dos agregados.

### **2.5.1.3 Resistência à segregação**

Para Schutter et al. (2008) a resistência à segregação é a capacidade de uma mistura fresca de manter a distribuição original (adequadamente uniforme) dos materiais constituintes (principalmente agregados) durante transporte, aplicação e colocação.

De acordo com Figueiras (2006) o BAC não deve exibir nenhum dos seguintes tipos de segregação, tanto em repouso como em movimento: exsudação (segregação entre sólidos e água), segregação da pasta e agregados, segregação do agregado grosso originando o bloqueio e não uniformidade da distribuição dos poros de ar.

### **2.5.2 BAC no estado endurecido**

No estado endurecido, para a resistência à compressão, verifica-se que a característica do BAC apresentar elevada fluidez associada à suficiente coesão para resistir à segregação, muitas vezes requer a utilização de factor água/cimento (a/c) menor que o utilizado para BC equivalente. Menor factor a/c conduz à obtenção de maiores resistências à compressão. As composições de BAC empregadas tipicamente para obras pré-moldadas apresentam factor a/c de 0,32 a 0,40. Composições de BAC com factor a/c maiores que 0,40 são algumas vezes utilizadas para obras moldadas no local ou obras de recuperação, apresentando resistências características similares ao BC (Calado et al., 2015).

## **2.6 Materiais Constituintes do BAC**

Embora o BAC possa ser produzido com uma ampla variedade de materiais, a selecção adequada desses materiais é essencial para a sua optimização. Comparado ao betão convencional, o BAC é geralmente muito mais sensível a variações nas propriedades dos materiais (Koehler & Fowler).

### **2.6.1 Agregados**

As misturas de BAC geralmente apresentam alguma combinação de menor teor total de agregados, maior quantidade de agregado miúdo em relação ao agregado graúdo e menor tamanho máximo do agregado. Embora o BAC possa ser produzido com uma ampla variedade de fontes de agregados, a optimização das características dos agregados pode resultar em melhores propriedades de fluxo e menor demanda por

materiais cimentícios, água e adjuvantes químicos. Ao seleccionar uma fonte de agregados para o BAC, características-chave incluem, mas não se limitam a: forma, angularidade e textura; granulometria (incluindo o tamanho máximo do agregado); e características dos microfinos (Koehler & Fowler, 2007).

## **2.6.2 Granulometria**

A granulometria de todos materiais em uma mistura de betão (incluindo agregado, materiais cimentícios e outros adjuvantes em pó) é altamente relevante para o desempenho do betão. As granulometrias para BAC geralmente apresentam maiores proporções de areia em relação ao total de agregados, menores tamanhos máximos de agregado e tendem a ser uniformemente graduadas, sem excesso de deficiência de material em dois peneiros consecutivos (Koehler E. P., et al., 2007).

### **2.6.2.1 Tamanho dos Agregados**

O tamanho dos agregados é classificado em duas categorias: agregados finos e agregados graúdos (Okamura & Ozawa, 1995).

#### **2.6.2.1.1 Agregados finos**

Os agregados finos incluem normalmente as areias de diferente natureza e modo de obtenção, cuja máxima dimensão das partículas não excede os 5 mm.

Todas as recomendações usualmente estabelecidas para as areias de betões convencionais devem ser aplicadas às areias utilizadas em betões auto-compactáveis. Tal como sucede nos betões convencionais é recomendada uma granulometria contínua com uma boa distribuição entre partículas mais finas e as mais grossas, mas não são estabelecidas referências específicas para a distribuição granulométrica das areias.

#### **2.6.2.1.2 Agregados grossos**

São considerados como agregados grossos todas as partículas com diâmetro superior a 5 mm. Para a máxima dimensão não são estabelecidos limites de referência, mas sabe-se que, para estruturas de betão armado e pré-esforçado correntes, a dimensão máxima do agregado grosso recomendada se situa entre os 20 e os 25 mm, na generalidade dos casos. Tal como se referiu para os agregados finos, também neste caso, todas as

recomendações usualmente estabelecidas para os agregados grossos de betões correntes se devem aplicar aos agregados grossos para betões auto-compactáveis (Koehler & Fowler, 2007).

### **2.6.3 Adjuvante**

Actualmente, o uso de adjuvante, é indispensável para a produção de determinados tipos de betão (de elevada resistência, de elevado desempenho, auto-compactável, etc.). Há pesquisas que indicam que 70 a 80% de todo o betão produzido no mundo contém um ou mais adjuvantes (Mehta & Monteiro, 2014). Quanto ao seu efeito, ele pode actuar tanto física como quimicamente com o processo de hidratação do cimento, modificando uma ou mais propriedades do betão, tanto no estado fresco como no endurecido (Sousa, 2021).

Para Okrajnov-Bajić e Vasović (2009) adjuvantes são materiais que são adicionados ao betão em quantidades muito pequenas (comparadas à massa de cimento) antes ou durante a mistura, para alcançar certas propriedades do betão fresco ou endurecido.

### **2.6.4 Cimento**

Para a confecção de BAC podem ser utilizados os mesmos cimentos já adoptados para a produção de betões estruturais convencionais, sendo idênticas as prescrições referentes à durabilidade e aos usos adequados. Não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado para BAC. O melhor cimento é aquele que apresenta a menor variabilidade em termos de resistência à compressão (Tutikian & Dal Molin, 2008).

A quantidade de cimento do BAC varia em torno de 200 a 450 kg/m<sup>3</sup>, dependendo da utilização de adições reactivas ou inertes. Geralmente para dosagens onde a taxa de cimento é inferior a 300 kg/m<sup>3</sup> deve-se adicionar outro material cimentício, tal como a escória de alto forno ou a cinza volante (Gomes & Barros, 2009).

### **2.6.5 Adições Minerais**

Para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, normalmente são utilizados adjuvantes modificadores de viscosidade e/ou adições minerais. As adições minerais devem ser escolhidas após uma análise técnica e económica e podem ser diversas, desde que tenham áreas superficiais maiores que a

do componente que estão substituindo. Além de responsáveis pela resistência à segregação da mistura, as adições minerais podem desempenhar um papel importante para a resistência e durabilidade do betão, tanto física quanto quimicamente (Tutikian & Dal Molin, 2008).

### **2.6.6 Água**

Os requisitos de qualidade da água para BAC são os mesmos que para BC (Tutikian & Dal Molin, 2008).

## **2.7 Classificação geral para o BAC**

O BAC pode ser classificado genericamente nos três tipos seguintes, função do método utilizado para prevenir a ocorrência de segregação, ou seja, o método para aumentar a viscosidade da pasta:

- Tipo finos, para o qual é adicionado um elevado volume de finos;
- Tipo agente de viscosidade, para o qual é adicionado um agente de viscosidade;
- Tipo combinação, combinação dos métodos anteriores.

### **2.7.1 BAC do tipo finos**

O BAC do tipo finos depende de um alto teor de materiais finos, como cimento, cinzas volantes e sílica activa, para alcançar sua fluidez e compactação sem vibração. Esse tipo de BAC utiliza um elevado conteúdo de finos para melhorar a trabalhabilidade e a durabilidade, tornando-o adequado para diversas aplicações, especialmente em áreas congestionadas.

O mercado de BAC do tipo finos é segmentado por aplicação em residências, edifícios comerciais, infraestruturas e indústrias. No sector residencial, a demanda por BAC é impulsionada pela necessidade de materiais de construção de alta qualidade, duráveis e com bom acabamento estético. Ele é utilizado na construção de casas, apartamentos e complexos residenciais, onde sua excelente fluidez e acabamento garantem desempenho estrutural superior e apelo visual (Sharma, 2024).

A razão água/finos, em volume, é ajustada para um valor de aproximadamente 1.0 para conferir uma viscosidade adequada à pasta e assim evitar a ocorrência de segregação tal como mostra a Figura 5. Nas composições deste tipo a quantidade total de finos é

superior à quantidade presente num betão convencional, devido ao aumento do volume da pasta no betão. Em consequência, parte dos finos (cimento) é substituída por adições minerais tais como cinzas volantes, escórias de alto forno, fíler, etc. (Nunes, 2001).

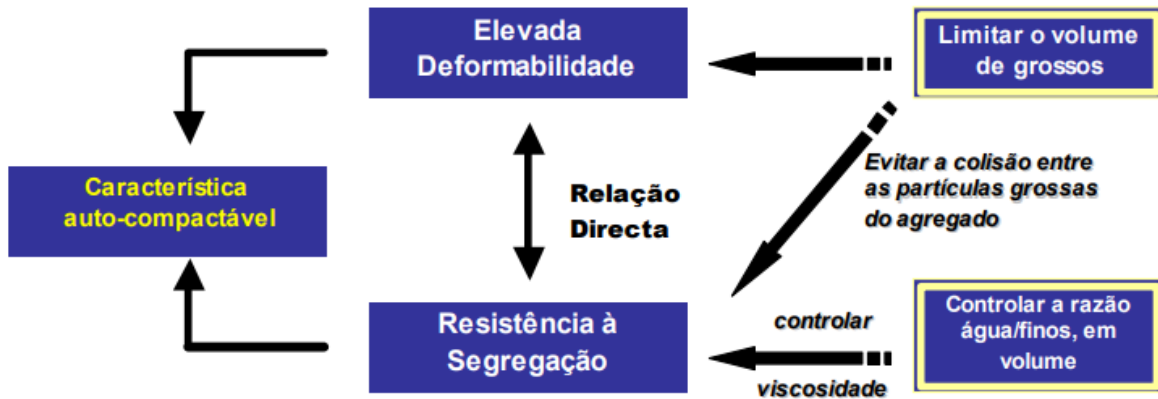


Figura 5. Melhoria da característica auto-compactável controlando o volume dos constituintes.

Fonte: Nunes (2001)

### 2.7.2 BAC do tipo agentes de viscosidade

Este tipo de BAC pode ser considerado uma extensão do betão submerso. Usando agentes de viscosidade, podem ser produzidos betões com elevada fluidez e suficiente resistência à segregação, mesmo contendo baixas quantidades de materiais finos e dosagens de água superiores àquelas utilizadas nos betões do tipo finos. Os betões com agentes de viscosidade são em geral menos sensíveis às pequenas variações das dosagens de água durante a amassadura e essa poderá ser uma das suas principais vantagens (Domone P. , 2000).

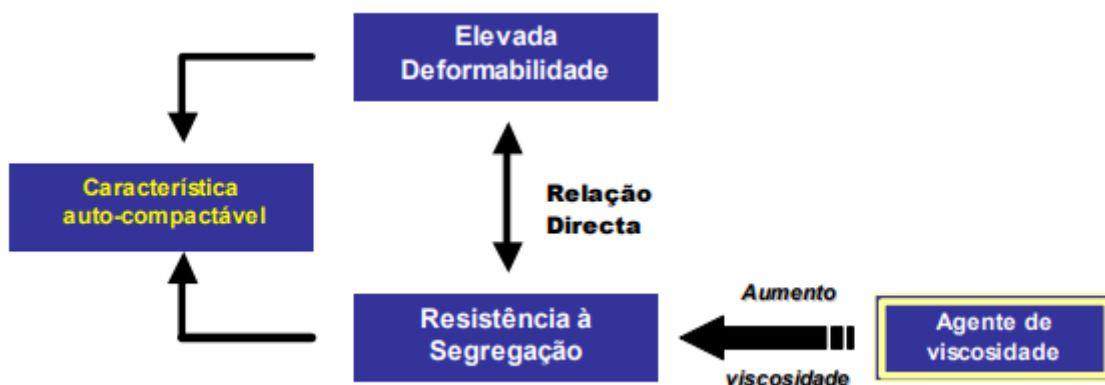


Figura 6. Melhoria da característica auto-compactável com um agente de viscosidade.

Fonte: (Nunes, 2001)

### 2.7.3 BAC do tipo combinação

Este tipo de BAC é basicamente um betão com elevada dosagem de materiais finos incorporando pequenas quantidades de um agente de viscosidade específico. A adição de um agente de viscosidade tem por objectivo primordial minimizar as consideráveis variações na trabalhabilidade dos betões auto-compactáveis resultantes das oscilações do teor em água superficial e do módulo de finura dos agregados finos aquando da amassadura. Adicionalmente, a introdução do agente de viscosidade permite também controlar as oscilações devidas às variações de temperatura (Nepomuceno, 2005).

### 2.8 Ensaios para o controle de trabalhabilidade

No controle da trabalhabilidade, é necessária a medição de três propriedades: fluidez, coesão necessária para a mistura fluir intacta entre obstáculos (habilidade de passagem) e resistência à segregação (Oliveira, 2011). Uma das principais dificuldades da utilização dos ensaios é que nenhum teste é capaz de medir isoladamente as três principais propriedades, e nenhum teste é capaz de medir isoladamente todos os três itens (Tutikian & Dal Molin, 2008).

A Tabela 1 apresenta os métodos de ensaio para a determinação das propriedades assim como a sua aplicabilidade no campo ou laboratório onde XXX – altamente recomendável; XX – recomendável; X – pouco recomendável; N – não relevante.

Tabela 1. Ensaios Para a Avaliação da Trabalhabilidade do BAC. Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008)

Ensaio	Utilização		Propriedades Avaliadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Habilidade de passagem	Resistência à Segregação
Slump flow	XXX	XXX	XXX	N	X
Slump flow T <sub>50</sub>	XXX	XX	XXX	N	X
V-Funnel	XX	X	XX	N	X
V-Funnel 5 min	XX	X	X	N	XXX
L-Box	XX	X	N	XXX	XX
U-Box	XX	X	N	XXX	XX
Orimet	XX	X	XX	X	X

<b>J-Ring</b>	XXX	XXX	X	XXX	XX
---------------	-----	-----	---	-----	----

### 2.8.1 Ensaio de Espalhamento (*slump flow test*)

O ensaio é utilizado para verificar a capacidade de preenchimento do BAC e está directamente relacionado com a sua fluidez. É o ensaio mais utilizado em laboratório e no local da construção pela sua facilidade de execução e rapidez (Gomes & Barros, 2009).

É efectuado com recurso a um cone de Abrams, que é preenchido sem compactação. Após o levantamento do cone, é medido o diâmetro atingido pela mistura conforme ilustra a Figura 7 (Barrela, 2010).



*Figura 7. Slump Flow Test.*

*Fonte: Daczko (2012)*

O ensaio permite observar visualmente se o betão está segregando ou não (Tutikian & Dal Molin, 2008). As Figura 8 e Figura 9 ilustram o resultado do ensaio realizado com duas misturas: a primeira sem apresentar segregação e a segunda com segregação visível.



Figura 8. BAC sem segregação.

Figura 9. BAC com segregação visível.

Por sua vez esse pode ser classificado conforme a Tabela 2 apresentada pela norma ASTM C1611/C1611M-05.

Tabela 2. Valores do Índice de Estabilidade Visual (VSI).

Valor IEV	Critério
<b>0 = Altamente Estável</b>	Nenhuma evidência de segregação ou exsudação (sangramento).
<b>1 = Estável</b>	Nenhuma evidência de segregação e leve exsudação observada como um brilho na superfície da massa de concreto.
<b>2 = Instável</b>	Um leve halo de argamassa $\leq 0,5$ pol. ( $\leq 10$ mm) e/ou acúmulo de agregados no centro da massa de concreto.
<b>3 = Altamente Instável</b>	Segregação evidente por presença de um grande halo de argamassa $> 10$ mm e/ou um grande acúmulo de agregados no centro da massa de concreto.

Na Tabela 3, podem ser vistos os valores de espalhamento encontrados por diversos pesquisadores.

Tabela 3. Limites dos resultados para o ensaio de espalhamento, segundo alguns pesquisadores.

Referências	Espalhamento (mm)	
	Mínimo	Máximo
EFNARC (2002)	650	800
Melo (2005)	600	700
Choi et al. (2006)	600	750
Alencar (2008)	650	780

Gomes e Barros (2009)	600	800
Ferraz (2009)	600	670
Almeida Filho et al. (2010)	570	740

De acordo com Tutikian (2004), espalhamentos abaixo do limite inferior indicam que o betão está pouco fluido, ou seja, é necessário fluidificar o material através de água ou adjuvantes SP's, e se a medida estiver acima do limite superior, deve-se tornar o betão mais coeso, para que não ocorra segregação.

### 2.8.2 Ensaio de espalhamento $T_{500}$ (Slump flow $T_{500}$ test)

Este ensaio é uma variação do ensaio de espalhamento, com os mesmos equipamentos com o acréscimo de um cronómetro para a realização do ensaio e a presença de pelo menos duas pessoas.

Diversos autores, consideram que o tempo de escoamento do betão é um importante indicador das propriedades de fluxo da mistura e estabelecem limites para este tempo durante o ensaio, como mostra a Tabela 4. O tempo abaixo do limite inferior indica que o betão está muito fluido, e o tempo acima do limite superior indica que o betão está muito coeso, devendo, em ambos os casos, ser corrigido (Barrela, 2010).

Tabela 4. Limites dos resultados para o espalhamento  $T_{500}$ , segundo alguns pesquisadores.

Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
Daczko (2012)	2	5
Ali (2019)	8	12
Palma (2001)	3	5
Gomes (2002)	4	10
Gomes e Barros (2009)	2	7
Choi at al. (2006)	3	8
Alencar (2008)	1,5	3,6

### 2.8.3 Ensaio do Anel-J (J-Ring test)

O J-Ring test é um ensaio complementar ao ensaio de espalhamento detalhado anteriormente, pois o *slump flow* não proporciona uma avaliação directa para medir a propriedade de habilidade de o BAC passar entre as armaduras.

Segue-se o mesmo procedimento do ensaio de espalhamento, acrescentando-se o anel sobre a base de ensaio, em torno do cone.

A diferença entre a média das alturas externas e a altura interna e não pode exceder 10mm (Gomes & Barros, 2009).

### 2.8.4 Ensaio do Funil - V (V funnel test)

Este ensaio permite avaliar a capacidade do BAC em passar por espaços restritos, a partir da observação do tempo de escoamento de uma amostra de betão por um funil, apenas sob a acção do seu peso próprio (Barbosa e Silva, 2008). A Figura 10 ilustra como se dá o movimento do betão, bem como os limites mínimos e máximos para as dimensões deste equipamento.

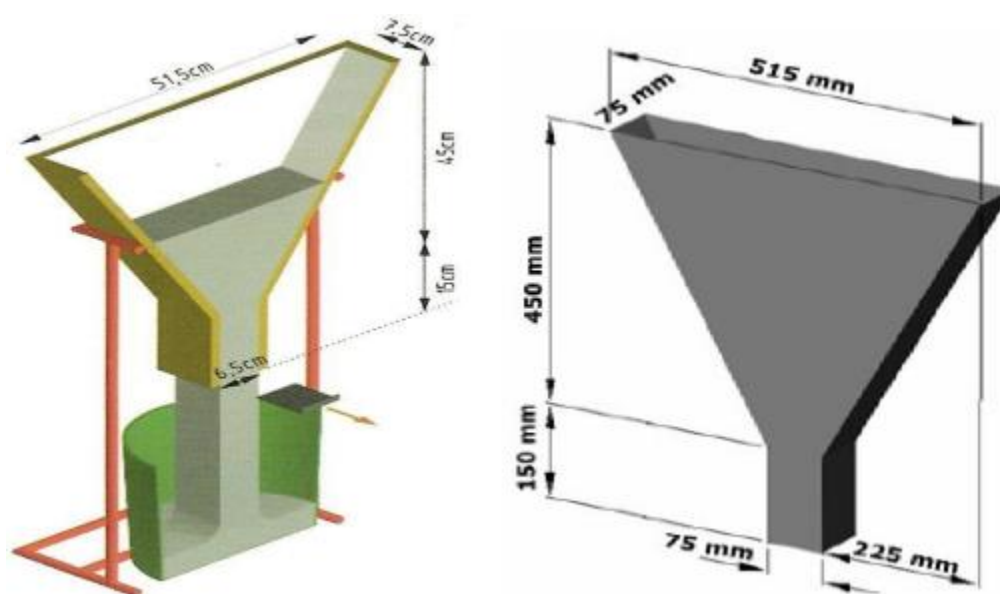


Figura 10. Formato e dimensões do equipamento Funil – V.

Fonte: Barbosa e Silva (2008)

Para que esta mistura seja considerada como auto-compactável, o tempo de escoamento deve se situar em um intervalo determinado na Tabela 5 segundo alguns pesquisadores.

Tabela 5. Limites dos resultados do ensaio do funil -V, segundo alguns pesquisadores.

Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
Ali (2019)	8	12
EFNARC (2002)	6	12
Gomes (2002)	10	15
Repetto (2005)	5	10
Gomes e Barros (2009)	6	15

### 2.8.5 Orimet test

Este ensaio foi desenvolvido para avaliar a capacidade de escoamento de misturas de betões com alta trabalhabilidade, e actualmente, para betões auto-compactáveis (Tutikian, 2004).

. Também é possível a realização deste ensaio em conjunto com o j-ring ou anel Japonês, caso não se coloque as duas barras perpendiculares de aço na extremidade do tubo, conforme ilustra a Figura 11.

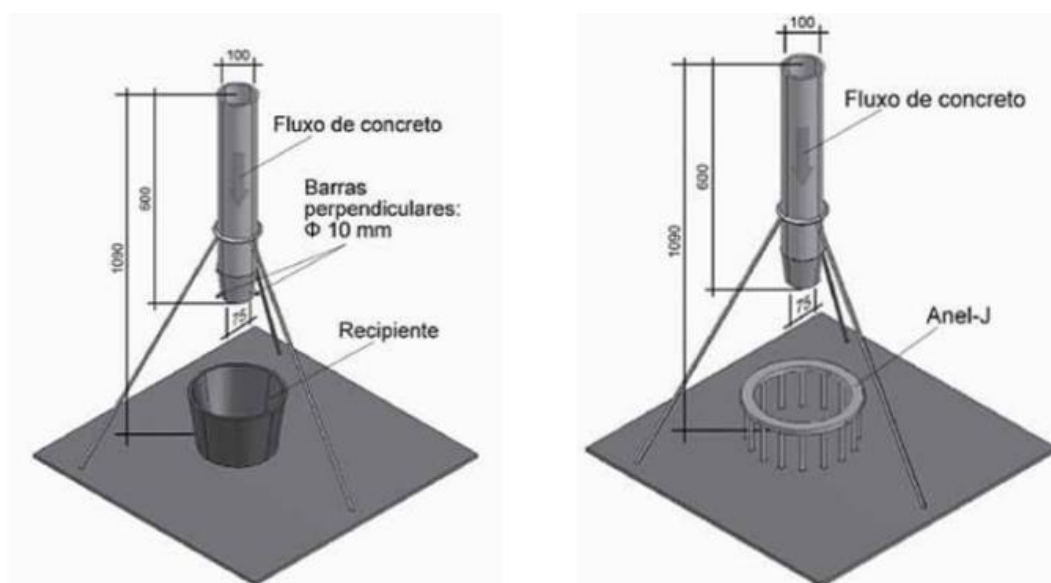


Figura 11. Ensaio Orimet com verificação da resistência à segregação do BAC através de duas barras perpendiculares | Ensaio Orimet em conjunto com o anel-j.

Fonte: Gomes e Barros (2009)

O tempo de fluxo do ensaio Orimet é o período da abertura da porta de passagem até a cessação do fluxo de betão através do equipamento, expresso em segundos. A Tabela 6 mostra valores (mínimos e máximos) propostos por alguns pesquisadores.

Tabela 6. Limites dos resultados do ensaio Orimet, segundo alguns pesquisadores.

Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
EFNARC (2002)	0	5
Ali (2019)	0	5
Gomes e Barros (2009)	0	3

### 2.8.6 Ensaio da caixa L (L - box test)

Este ensaio objectiva medir a fluidez da mistura simultaneamente com a sua capacidade de passar por obstáculos de forma coesa e sem apresentar segregação. O equipamento necessário consiste de uma caixa em forma de L, munida de uma portinhola móvel para a separação entre o compartimento vertical, onde é armazenado o betão a ser ensaiado, e o compartimento horizontal, por onde o mesmo escoar por entre três barras de aço de 10mm ou 12,5mm de diâmetro, espaçados 40,5mm entre si (Manolia, 2019). Segundo Roussel et al. (2006), é importante salientar que o diâmetro das barras de aço e o espaçamento entre elas, no ensaio, dependem basicamente das condições reais da estrutura em que o betão será aplicado. A Figura 12 ilustra a caixa - L, bem como suas medidas.

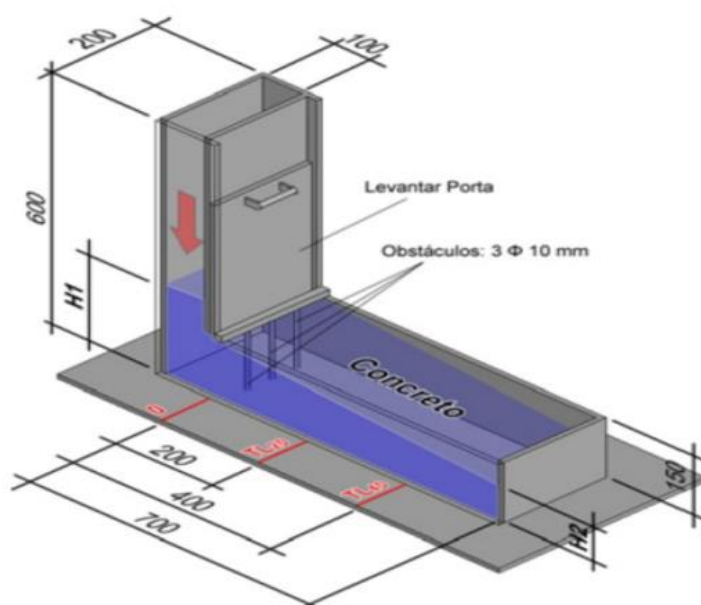


Figura 12. Medidas da caixa L (L-box) e movimento do BAC no seu interior.

Fonte: Oliveira (2011)

Quando o betão cessa o movimento, levanta-se o portão e é cronometrado o tempo em que o betão alcança a marca de 20 cm 40cm. A cronometragem dos tempos não é obrigatória e nem sempre recomendada, pois são períodos pequenos e de difícil marcação (a não ser que se utilize uma pessoa para marcar cada um dos tempos, o que dificulta o ensaio).

Em seguida é medida a altura do betão no final do trecho horizontal (H2) e a altura do betão remanescente do trecho vertical (H1) da Caixa-L, em milímetros, e calcula-se a relação H2/H1. Esta relação é chamada de razão de bloqueio e indica a facilidade do betão em escoar e passar por restrições impostas pelas barras de aço (Repette, 2005). Um dos critérios de aceitação recomendado pela maioria dos pesquisadores é adotar valores que fiquem entre 0,80 e 1,00, conforme ilustra a Tabela 7.

Tabela 7. Limites dos resultados do ensaio da caixa L, segundo alguns pesquisadores.

Referências	Razão de bloqueio (H2/H1)		Tempo de fluência (s)	
	Mínimo	Máximo	$T_{20}$	$T_{40}$
Ferraz (2009)	0,8	1	<1,5	<3,5
Gomes (2002)	0,8	1	<1	<2
Gomes e Barros (2009)	0,8	1	0,5-1,5	2-3

### 2.8.7 Ensaio na caixa U (U-box test)

De menor sensibilidade que a caixa “L”, a caixa “U” avalia a fluidez e a habilidade do betão em resistir ao bloqueio por obstáculos sem segregar quando em movimentos verticais. O equipamento necessário consiste de um ducto em forma de U, com dois compartimentos adjacentes separados por uma portinhola móvel, e barras de aço com as mesmas dimensões da caixa L (diâmetro de 12,5mm espaçadas 45mm entre si). Segundo EFNARC (2002), como na caixa - L, as armaduras devem ser projectadas caso a caso, a fim de se ter uma maior precisão nos resultados dos ensaios. A Figura 13 ilustra as dimensões da caixa - U.

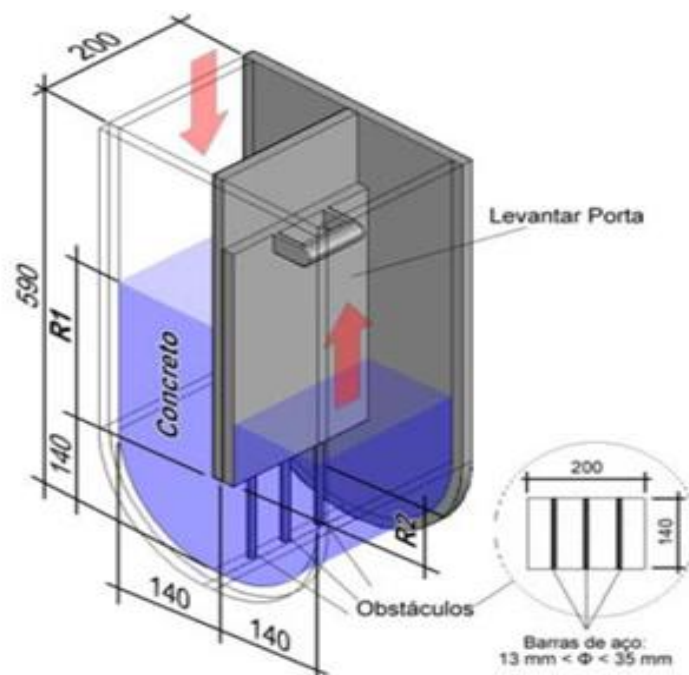


Figura 13. Medidas da caixa - U e movimento do BAC no seu interior.

Fonte: Oliveira (2011)

Após o término do movimento, deve-se medir as alturas R1 e R2 e determinar o valor de  $R1 - R2$ , o qual é chamado de altura de preenchimento. A Tabela 8 mostra os limites de resultados do ensaio da caixa – U, usados por alguns pesquisadores.

Tabela 8. Limites dos resultados para o ensaio da caixa U, segundo alguns pesquisadores.

Referências	Altura de preenchimento (mm)	
	Mínimo	Máximo
Repette (2005)	0	30
Tutikian e Dal Molin (2008)	0	30
Gomes (2002)	0	80
Choi at al. (2006)	0	40

### 2.8.8 Ensaio do tubo U (U-shaped pipe test)

Este método baseia-se em determinar a razão entre a massa de agregado graúdo do BAC, pela lavagem e peneiramento de uma amostra de referência P1 dada em relação às porções P2 e P3, colectadas após repouso, de aproximadamente 2,5 horas, do betão moldado neste tubo. O Tubo -U é constituído por três tubos de PVC de diâmetro de 160 mm, sendo que o primeiro e o terceiro têm 570 mm de comprimento, enquanto o segundo

mede 800 mm, e todos são serrados ao meio, e presos com braçadeiras metálicas, para que possam ser abertos sem danificar o betão que está no seu interior (Figura 14).

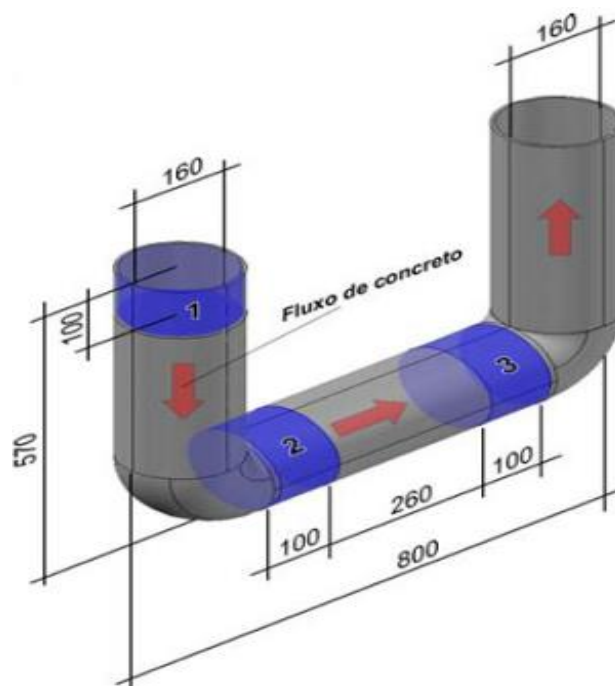


Figura 14. Ilustração do Tubo U e suas dimensões.

Fonte: Oliveira (2011)

Na peneira de 5 mm de abertura, lavam-se as amostras para que ocorra a separação dos constituintes e se obtenha o agregado graúdo limpo.

Finalmente determina-se a massa P1 dos agregados de referência, que será dividida pelas massas das amostras P2 e P3, e a menor relação será a quantificação da segregação (RS), calculada conforme a Equação (1).

$$RS = \frac{P1}{P2} \text{ ou } \frac{P1}{P3} \quad (1)$$

Onde: RS- Resistencia a segregação

Se a relação RS for menor que 90%, significa que o betão está segregando, ou seja, é necessário que se adicionem materiais finos ou superplastificante modificador de viscosidade para dar maior coesão à mistura.

Após a extração dos exemplares, pode-se deixar o restante do betão endurecer para dividir os pedaços ao meio e analisar visualmente a segregação, porque um bom BAC partido ao meio deve ter os agregados graúdos distribuídos uniformemente (Tutikian & Dal Molin, 2008).

## 2.9 Métodos de Dosagem do BAC

Os métodos de dosagem do BAC diferem dos utilizados para os betões convencionais, porém, no geral, também são empíricos. São fundamentados em princípios não comuns que têm como meta o atendimento a propriedades que estabelecem uma relação entre a habilidade das misturas de fluir com facilidade nas fôrmas, independentemente de sua complexidade e dificuldade, e a estabilidade das misturas, que garante a ausência de segregação (Gomes & Barros, 2009).

Diferentes metodologias de dosagem para a obtenção do BAC são encontradas na literatura. Uma das primeiras e mais conhecida teoria foi desenvolvida no Japão (OKAMURA, 1997; OUCHI et al., 1996). A partir do primeiro protótipo do BAC surgiram diversos métodos de dosagens tais como, os métodos de Petersson et al., Modelo de Empacotamento Compressível, Su et al, Saak et al., Reppette-Melo, Tutikian, Tutikian e Dal Molin, EFNARC, Gomes et al, entre outros. Neste trabalho, será descrito o método proposto por Tutikian e Dal Molin, que será posteriormente aplicado para o ensaio.

O método de Tutikian & Dal Molin (2007) apresenta uma abordagem mais completa e equilibrada para a dosagem do BAC quando comparado aos principais métodos existentes, como Petersson et al., o Modelo de Empacotamento Compressível (De Larrard), Su et al., Saak et al., Reppette-Melo, Tutikian (2004), Gomes et al., entre outros.

Enquanto muitos métodos se concentram em apenas um aspecto — como a reologia (Petersson), o empacotamento teórico de partículas (De Larrard), ou proporções empíricas de argamassa e pasta (Su et al., Gomes et al.) — o método de Tutikian & Dal Molin destaca-se por integrar simultaneamente aspectos granulométricos, reológicos, estabilidade da mistura e desempenho mecânico, apresentando uma metodologia mais completa.

Além disso, ao contrário de métodos altamente teóricos ou dependentes de equipamentos especializados (como reômetros nos métodos reológicos ou softwares de empacotamento avançado), Tutikian & Dal Molin (2007) propõem um procedimento mais prático, acessível e facilmente reproduzível em laboratórios convencionais, sem comprometer o rigor técnico.

Seu diferencial também reside na flexibilidade para acomodar variações de materiais, permitindo ajustes eficientes de aditivos e adições minerais, o que não ocorre em

métodos mais rígidos, como o de Su et al. ou de Gomes et al., que exigem granulometrias mais controladas.

Comparado às versões anteriores (como Tutikian, 2004), o método de 2007 é mais amadurecido, abrangente e validado experimentalmente. Por fim, quando comparado a métodos brasileiros como Reppette-Melo, apresenta maior sistematização, melhor replicabilidade e alinhamento com ensaios específicos do BAC, como slump-flow, L-box e V-funnel.

### 2.9.1 Método de dosagem de Tutikian e Dal Molin

O procedimento, cujo esquema está mostrado na Figura 15, é simples, experimental e permite que sejam utilizados quaisquer materiais locais, desde que cumpridos alguns requisitos básicos que serão detalhados na sequência (Gomes & Barros, 2009).

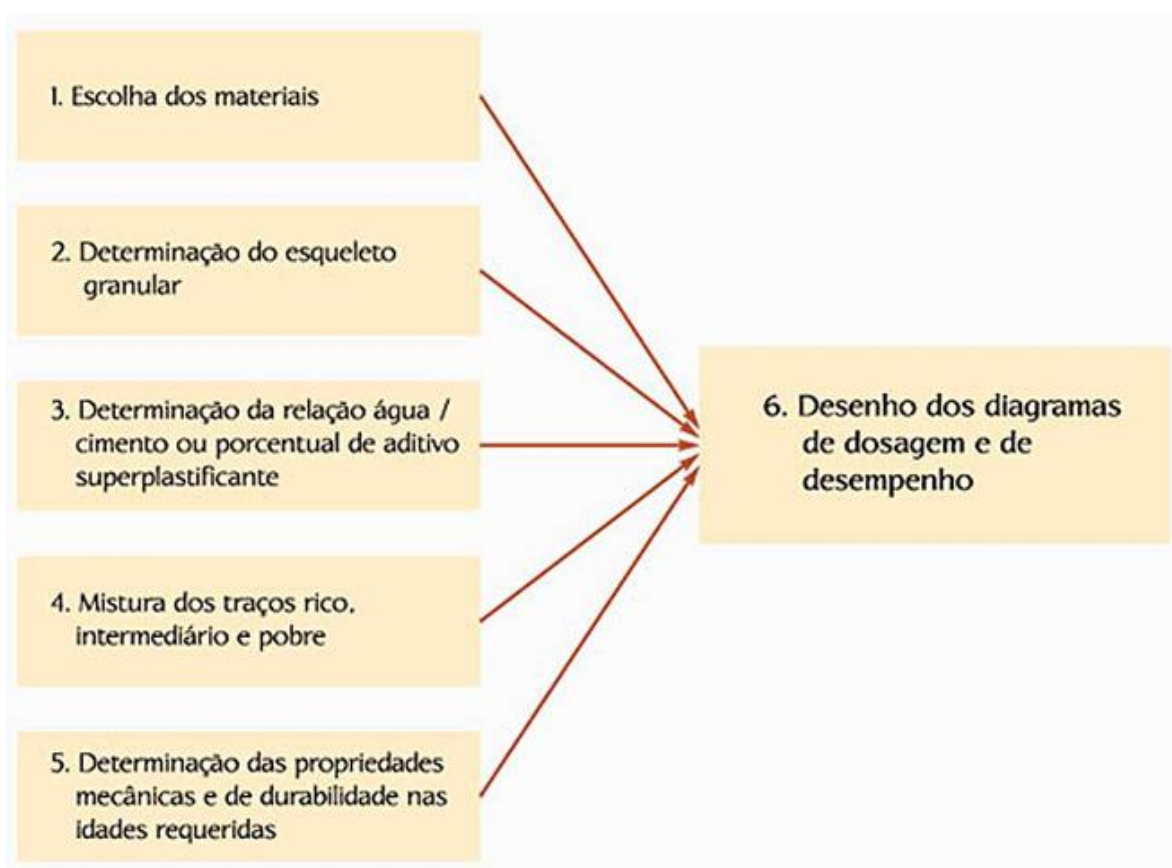


Figura 15. Passo a passo para dosagem de BAC com o método de Tutikian e Dal Molin.

Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008)

A seguir, serão detalhados os passos que deverão ser seguidos a fim de se obter uma família de BAC.

### 2.9.2 Escolha dos materiais

Como já foi comentado, o método pretende que a dosagem do BAC possa ser realizada com quaisquer materiais, desde que seja tecnicamente possível obter um BAC com os materiais escolhidos. Os componentes são basicamente os mesmos utilizados para o BC: cimento, agregados miúdo e graúdo e água, acrescidos de um material fino, de granulometria inferior à do agregado miúdo, e adjuvante superplastificante. Ocasionalmente, podem ser acrescentadas outras classes de agregado graúdo e adjuvantes.

Deve-se priorizar a escolha de agregados arredondados e com a menor dimensão máxima possível, para maximizar o empacotamento e, conseqüentemente, diminuir a possibilidade de segregação da mistura. Também é recomendável que todas as faixas granulométricas dos agregados sejam especificadas, fazendo com que haja uma distribuição contínua dos componentes (Tutikian & Dal Molin, 2008).

### 2.9.3 Determinação do esqueleto granular

O objectivo deste passo é determinar a proporção entre dois materiais que possuam a menor quantidade de vazios. Para isso, deve-se empacotar todos os componentes do BAC, dois a dois e em ordem decrescente de diâmetro das partículas. Assim que se determinar a primeira composição entre os dois materiais de maior diâmetro, o mesmo procedimento será realizado com a mistura e o próximo componente até chegar ao cimento, que é o único elemento que não é empacotado. Por exemplo, empacota-se a brita com a areia média. Essa mistura é empacotada com a areia fina, resultando em um esqueleto granular formado pela brita, pelas areias média e fina e com o mínimo de vazios. Caso sejam materiais finos Tensão como cinza volante ou escória alto-forno, devem ser empacotados após a areia regular e serão considerados, até o final do processo, como agregados (Tutikian & Dal Molin, 2008).

Para o cálculo da massa específica da mistura empacotada, utiliza-se a Equação (2), enquanto a Equação (3) auxilia na determinação dos vazios desses componentes.

$$M_{esp}AB = \frac{(M_{esp}A \times \%A) + (M_{esp}B \times \%B)}{100} \quad (2)$$

Onde:

$M_{esp}A$ -Massa específica do material A;

$M_{esp}B$ -Massa específica do material B;

%A é a fracção do material A na mistura;

%B é a fracção do material B na mistura.

$$V = \frac{M_{esp}AB - M_{unit}AB}{M_{esp}AB} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$M_{unit}AB$ -Massa unitária da mistura dos materiais A e B;

V- Teor de vazios presentes na mistura.

Observa-se que o objectivo é encontrar a mistura que proporcione o menor índice de vazios possível entre os materiais. Contudo, deve-se sempre buscar que essa mistura possua a maior quantidade possível de agregados maiores. Por isso, se a composição com a maior granulometria apresentar um índice de vazios igual ou até 5% maior, deve-se privilegiar esta, pois, assim, a mistura demanda menos água e apresenta um teor de argamassa menor, aumentando as resistências mecânicas e a durabilidade (Gomes & Barros, 2009).

Com isso, o esqueleto granular da mistura já está determinado. Assim, há uma grande probabilidade de que o BAC não segregue nem ocorra excesso de material fino. A não confirmação dessa compacidade no traço experimental é indicativa de que os materiais escolhidos não são adequados para a confecção de BAC, independentemente do misturador ou do método de dosagem utilizado. Dessa forma, os componentes devem ser substituídos ou apenas acrescentados outros, para suprir as lacunas. A segregação do betão é um indício de que falta material fino para dar coesão à mistura, então seria necessário substituir algum componente por outro de menor granulometria ou adicionar um VMA. Se, por outro lado, a mistura estiver muito coesa, impossibilitando, por motivos técnicos ou económicos, a adição de maior quantidade de água ou adjuvante superplastificante, é sinal de que há um excesso de materiais finos na composição do betão, devendo esses ser substituídos por outros de granulometria maior.

#### **2.9.4 Determinação da relação água/cimento ou teor do adjuvante superplastificante**

A determinação da relação a/c ou teor do adjuvante superplastificante é realizada antes da mistura dos materiais, em função da escolha do traço intermediário. Ou se fixa o SP com base do histórico de outros betões similares (1:m similar) e contando com a experiência do responsável, ou se determina a relação a/c com base em algumas normas que se baseiam na classe de agressividade ambiental e o tipo de betão (se é armado ou pré-esforçado).

A partir desse ponto, deve-se escolher o traço intermediário para realizar a mistura de ajuste, para confirmar a relação a/c e, principalmente, determinar, experimentalmente, o teor de adjuvante superplastificante. Sempre será referido o adjuvante superplastificante, apesar de que se pode produzir BAC com adjuvantes menos eficientes, ainda que não seja uma prática usual (Tutikian & Dal Molin, 2008).

#### **2.9.5 Mistura dos traços rico, intermediário e pobre**

Mistura-se, no mínimo, três pontos para a determinação das equações de comportamento e coeficientes de correlação, para a posterior confecção da curva de dosagem e, se desejado, da curva de desempenho (Tutikian & Dal Molin, 2008).

Durante a mistura dos traços, devem ser realizados os ensaios especiais para a verificação de suas propriedades de autocompactibilidade.

No final dessa etapa, moldam-se os Corpos de Prova (CP) para determinar as propriedades requeridas.

#### **2.9.6 Ensaio das propriedades mecânicas e de durabilidade nas idades determinadas**

Com os CP's já moldados e curados, a etapa que se segue é a realização dos ensaios pré-determinados. Podem ser apenas os mecânicos (mais comumente utilizados), de durabilidade ou ambos.

#### **2.9.7 Desenho dos diagramas de dosagem e desempenho**

O objectivo final do método e, conseqüentemente, o último passo, é o desenho dos diagramas de dosagem e desempenho. Contudo, antes disso, é necessário o cálculo das

equações de comportamento de cada uma das propriedades estudadas. Também devem ser estabelecidos os coeficientes de determinação, que expressam quão ajustadas estão as curvas e as rectas. A seguir, estão relacionadas as equações de comportamento, utilizadas para determinar todas as variáveis.

$$fc_j = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (4)$$

$$m = k_3 + k_4 * a/c \quad (5)$$

$$C = \frac{1000}{(k_5 + k_6 * \frac{a}{c})} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{(1 + f + a)}{(1 + m)} \quad (7)$$

$$\alpha = k_7 * C + k_8 \quad (8)$$

$$m = a + p + f \quad (9)$$

$$C = \frac{\gamma}{(1 + f + a + p + a/c)} \quad (10)$$

$$C = \frac{(1000 - ar)}{(\frac{1}{\gamma_c} + \frac{f}{\gamma_f} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c)} \quad (11)$$

$$A = C * a/c \quad (12)$$

Onde:

$fc_j$  = resistência à compressão axial, à idade  $j$ , em MPa;

$a/c$  = relação água / cimento em massa, em kg/kg;

$c$  = relação cimento / cimento em massa, em kg/kg;

$f$  = relação fino/cimento em massa, em kg/kg;

$a$  = relação agregado miúdo seco / cimento em massa, em kg/kg;

$p$  = relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

$m$  = relação agregados secos / cimento em massa, em kg/kg;

$\alpha$  = teor de argamassa seca, em kg/kg;

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$  = constantes que dependem exclusivamente dos materiais (cimentos, adições, agregados, adjuvantes);

$C$  = consumo de cimento por metro cúbico de betão compactado, em kg/m<sup>3</sup>;

SP% = dosagem de adjuvante superplastificante por metro cúbico de betão compactado, em kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma$  = massa específica do betão, medida no canteiro em kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma_c$  = massa específica do cimento, em kg/dm<sup>3</sup>;

$\gamma_f$  = massa específica dos finos não-pozolânicos, em kg/dm<sup>3</sup>;

$\gamma_a$  = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm<sup>3</sup>;

$\gamma_p$  = massa específica do agregado graúdo, em kg/dm<sup>3</sup>;

ar = teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;

A = consumo de água potável por metro cúbico de betão compactado, em kg/m<sup>3</sup>;

### 3 APLICAÇÃO DO BAC EM MOÇAMBIQUE

O Betão Auto-Compactável constitui uma inovação tecnológica que tem se mostrado promissora e vem sendo desenvolvida ao longo dos anos. É utilizado mundialmente e as estatísticas demonstram um aumento significativo no número de obras executadas com este tipo de betão.

Contudo, em Moçambique esta tecnologia ainda é pouco conhecida e pouco aplicada nas obras de construção civil. Apesar de já existir há mais de 30 anos, encontram-se ainda escassos relatos e artigos publicados no país sobre a utilização do BAC.

Com o intuito de compreender melhor e reunir mais informações acerca da aplicação desta tecnologia em Moçambique, o autor realizou pesquisas e inquéritos dirigidos a profissionais da área de construção civil e a centrais de betão. Adicionalmente, foi conduzido um ensaio laboratorial para verificar a aplicabilidade da inovação utilizando materiais disponíveis localmente.

A seguir, apresentam-se os resultados destes inquéritos e ensaios laboratoriais.

#### 3.1 Resultado do inquérito feito à profissionais da construção civil

O inquérito foi realizado pelo autor, através da plataforma *Google Forms*, em julho de 2025. Participaram 81 profissionais do sector da construção civil em Moçambique, dentre

engenheiros, arquitectura, técnicos de construção civil, dentre outros. O questionário teve como tema “**Uso do betão auto-compactável em Moçambique**”, visando avaliar o nível de conhecimento, a percepção e a experiência destes profissionais relativamente a esta tecnologia. Os resultados deste inquérito encontram-se no ANEXO 1.

O inquérito revelou que mais de 20% dos profissionais desconhecem a existência desta inovação e, mesmo entre aqueles que a conhecem, muitos nunca chegaram a aplicá-la em obras. Observou-se ainda que apenas 21% dos inquiridos já utilizaram o betão auto-compactável em algum projecto, o que evidencia um baixo índice de adopção desta tecnologia no país tal como mostra a Figura 16.

### 5. Já usou o Betão Auto-Compactável em alguma obra ou projecto?

81 respostas

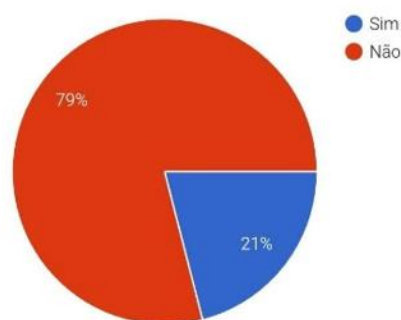


Figura 16. Percentagem de profissionais que já usaram o BAC em alguma obra ou projecto.

Fonte: Autor

Segundo estes profissionais, os principais motivos que justificam a escolha e utilização do BAC estão relacionados, principalmente, com a facilidade de aplicação, a redução da necessidade de mão de obra e a maior rapidez na execução das obras. A Tabela 9 apresenta a distribuição das respostas obtidas.

Tabela 9. Motivo da escolha do BAC.

Motivo da escolha do BAC	N.º de votos	Percentagem (%)
Facilidade de aplicação	12	14,8
Redução de mão de obra	11	13,8
Rapidez na execução	14	17,3
Melhor acabamento	10	12,3
Redução de Ruído	2	2,5

Contudo, estes profissionais também relataram enfrentar algumas dificuldades significativas, entre as quais se destacam: a escassez de fornecedores deste tipo de betão, a falta de mão de obra qualificada para sua correcta aplicação e os desafios associados ao controlo da qualidade do material ao longo do processo construtivo.

O inquérito revelou ainda que um dos principais factores que explicam esse reduzido nível de utilização é o limitado conhecimento técnico sobre o tema, reforçando a necessidade de maior investimento em pesquisas, capacitação e divulgação.

### 3.2 Resultado do inquérito feito às centrais de betão

O inquérito foi feito na província de Maputo em setembro de 2025. Este inquérito contou com a colaboração de cinco centrais e foi conduzido pelo autor.

O inquérito realizado às cinco centrais de betão revelou que todas centrais produzem ou possuem capacidade de produzir BAC - contudo, verificou-se que a procura por este tipo de betão é bastante reduzida, representando apenas cerca de 1% da demanda mensal, em comparação com 99% de betão convencional como ilustram a Tabela 10 e Figura 17.

Tabela 10. Quantidade de betão mensal produzida por cada central.

Tipo de betão	Quantidade mensal produzida (m³)					
	Central 1	Central 2	Central 3	Central 4	Central 5	Total
<b>Betão Auto-Compactável</b>	150	100	50	70	100	470
<b>Betão Convencional</b>	10000	8000	7000	9000	5000	39000

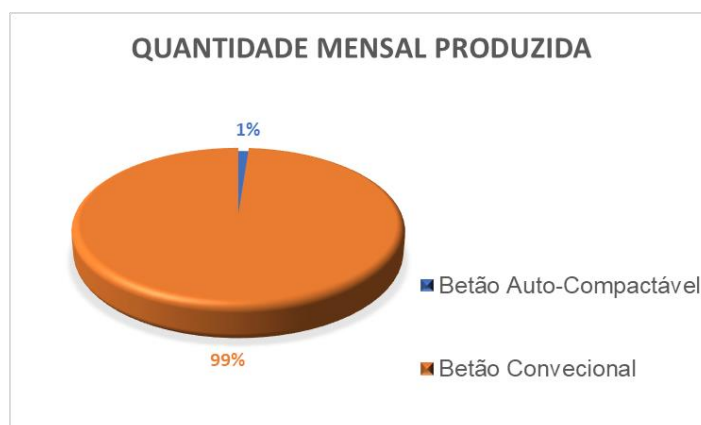


Figura 17. Quantidade de BAC em relação ao BC produzida nas centrais.

Fonte: Autor

No que diz respeito à produção, as centrais revelaram que não enfrentam dificuldades na aquisição de cimento, adjuvantes ou de quaisquer outros materiais constituintes necessários à produção do BAC, sendo estes prontamente disponíveis no mercado nacional. Assim, conclui-se que não existem obstáculos técnicos ou logísticos significativos para a produção de BAC nas centrais inquiridas.

Entretanto, observou-se que todas as centrais apresentam um défice no controlo da trabalhabilidade do BAC, uma vez que realizam apenas o ensaio de espalhamento (slump-flow), não efectuando os restantes ensaios recomendados para assegurar maior rigor no controlo da qualidade.

As centrais afirmaram ainda possuir disponibilidade para investir em novos equipamentos de acordo com a evolução da procura. Dessa forma, a baixa demanda surge como o principal factor limitante para a difusão do BAC em Moçambique.

No que se refere ao custo de produção e aquisição, as centrais indicaram que o BAC apresenta um acréscimo médio de 25% a 50% em relação ao BC. Esse aumento está associado sobretudo à maior quantidade de materiais finos exigida na sua composição e às proporções específicas de adjuvantes necessárias para garantir as propriedades auto-compactáveis.

Por fim, os resultados indicam que essa baixa procura pode estar associada sobretudo à falta de conhecimento técnico e à escassa divulgação das vantagens do BAC junto dos profissionais e consumidores, factores que reduzem significativamente a sua utilização

em comparação com o betão convencional. Os resultados deste inquérito encontram-se no ANEXO 2.

### 3.3 Estudo Experimental

Com o objectivo de avaliar a aplicabilidade do BAC em Moçambique, foi conduzida uma campanha experimental composta por ensaios de caracterização de materiais, produção de misturas e controlo do desempenho do betão. A produção deste betão foi conduzido com base no método de dosagem Tutikian e Dal Molin (2007) descrito no capítulo 2.9 sendo estes produzidos e ensaiados no laboratório *Advanced Construction Technology Services, MZ (ACTS, MZ)*

#### 3.3.1 Planeamento

A campanha experimental dividiu-se em três partes:

- i. Primeira parte: Caracterização dos agregados

Foram realizados ensaios laboratoriais aos agregados, de modo a verificar a sua adequação para utilização no BAC e possibilitar um melhor enquadramento no traço escolhido. Os ensaios foram conduzidos segundo as seguintes normas:

- **ASTM C136** – Análise granulométrica;
- **ASTM C29** – Determinação da massa unitária (Baridade);
- **ASTM C127** – Massa específica e absorção de agregados graúdos;
- **ASTM C128** – Massa específica e absorção de agregados miúdos.
- **BS 812-105**- Índice de lamelação e alongamento.

- ii. Segunda parte: Definição e ajuste do traço

Com base nos resultados obtidos e nos conhecimentos teóricos, foi definido um traço inicial de betão, o qual foi ajustado progressivamente até que adquirisse as características de um BAC. Para tal recorreu-se ao método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin (2007).

- iii. Terceira parte: Ensaio de resistência à compressão do BAC

Procedeu-se à realização de ensaios do betão no estado endurecido, com base na norma **ASTM C39**. Sendo estes resultados usados para determinar equações de comportamento.

### 3.3.2 Materiais usados

Para a produção do BAC, foram utilizados dois tipos de agregados: a areia natural lavada e a brita de rocha basáltica. Em relação ao cimento, usou-se o cimento cinzento CEM II/A-L 42,5N da Dugongo. Adicionalmente, usou-se o adjuvante superplastificante Sika Viscoflow 1050 cuja ficha técnica encontra-se no ANEXO 3. A água utilizada era proveniente da rede de abastecimento público.

### 3.3.3 Ensaios de caracterização dos agregados

Esses resultados permitiram avaliar as propriedades físicas dos agregados disponíveis localmente e, posteriormente, fundamentar os ajustes necessários no traço experimental do betão.

#### 3.3.3.1 Análise granulométrica

O ensaio consiste na peneiração a seco dos agregados previamente pesados através de uma série de peneiros de aberturas normalizadas, ficando assim o agregado retido ao longo dos peneiros, separados por classes granulométricas, conforme ilustrado na Figura 18. Segue-se a pesagem das parcelas dos agregados retidos em cada peneiro e cálculo das fracções granulométricas correspondentes.



*Figura 18. Processo de peneiramento do agregado.*

*Fonte: Autor*

Dos valores das percentagens do agregado passado em cada peneiro, traça-se a curva granulométrica do agregado, marcando nas ordenadas as percentagens e nas abcissas as aberturas dos respectivos peneiros. São apresentados na Tabela 11 os resultados referentes às percentagens retidas e passadas em cada peneiro para os agregados analisados e as respectivas curvas granulométricas são apresentadas na Figura 19.

Tabela 11. Percentagem acumulada retida e percentagem passada dos agregados.

Abertura dos peneiros (mm)	Agregado grosso		Agregado Médio		Agregado Miúdo	
	% Retida Acumulada	% Que Passa	% Retida Acumulada	% Que Passa	% Retida Acumulada	% Que Passa
25	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
19	0,4	99,6	0,0	100,0	0,0	100,0
12,5	90,7	9,3	3,9	96,1	0,0	100,0
9,5	98,2	1,8	21,6	78,4	0,0	100,0
4,75	99,9	0,1	99,2	0,8	0,0	100,0
2,36	99,9	0,1	99,8	0,2	1,9	98,1
1,18	99,9	0,1	99,8	0,2	9,0	91,0
0,6	100,0	0,0	99,8	0,2	40,0	60,0
0,3	100,0	0,0	99,8	0,2	73,0	27,0
0,15	100,0	0,0	99,8	0,2	92,6	7,4
0,075	100,0	0,0	99,9	0,1	98,4	1,6
pan	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
<b>Dimensão Nominal máxima</b>	19mm		12,5mm		4,75mm	
<b>Modulo de Finura</b>	7		6,2		2,2	

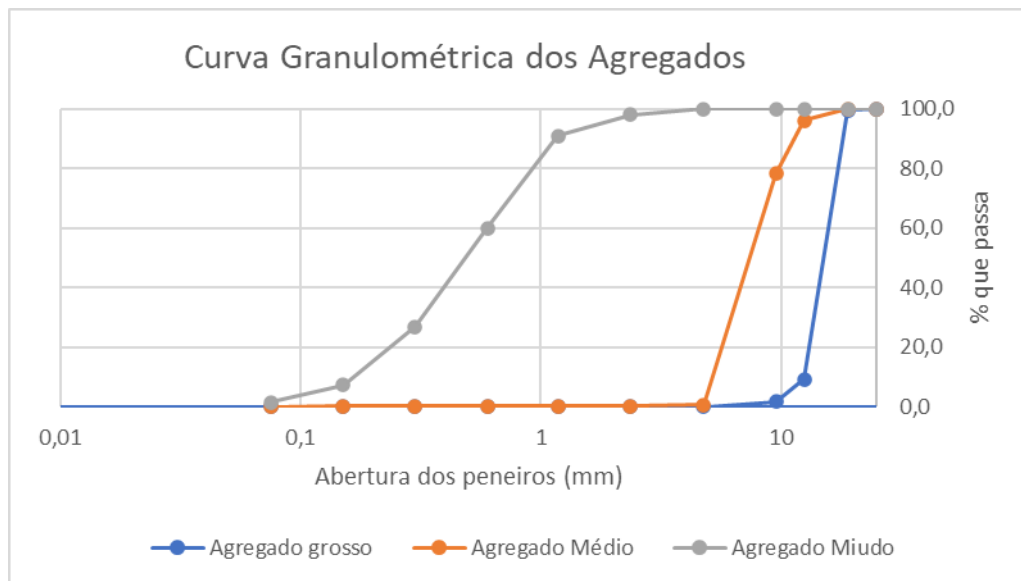


Figura 19. Curvas granulométricas dos agregados.

Fonte: Autor

### 3.3.3.2 Baridade

A baridade é definida como massa volúmica aparente do material, dada pelo quociente da massa do agregado seco pelo volume por este ocupado em condições de compactação definidas. A Figura 20 demonstra o recipiente cheio durante a execução do ensaio de baridade do agregado grosso, e a Tabela 12 apresenta os resultados de Baridade de todos agregados.



Figura 20. Processo do ensaio de baridade.

Fonte: Autor

Tabela 12. Resultados do teste de baridade dos agregados

	Peso do molde (kg)	Peso do molde + Amostra (kg)	Volume do Molde (m <sup>3</sup> )	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Agregado grosso</b>	4,2	20,80	0,01019	1630
<b>Agregado médio</b>	4,2	20,50	0,01019	1600
<b>Agregado miúdo</b>	4,2	20,12	0,01019	1560

### 3.3.3.3 Massa específica e absorção de agregados miúdos

Este ensaio tem como objectivo determinar a densidade das partículas de solo que passam do peneiro de malha quadrada de 4,75mm de abertura. No ensaio, mede-se a massa da amostra no estado saturado com superfície seca, a massa do picnómetro cheio de água, a temperatura da água e a massa do picnómetro com amostra cheia de água. Tendo estes parâmetros todos conhecidos é possível calcular a densidade relativa da areia através da medição do volume deslocado pela água no interior do picnómetro. A Figura 21 ilustra o procedimento usado para determinação da massa específica deste agregado, onde têm-se respectivamente: a amostra no estado saturado com superfície seca, picnómetro com água e picnómetro com amostra e água, e a Tabela 13 apresenta os resultados da densidade relativa e absorção do agregado miúdo.



Figura 21. Procedimento da determinação da massa específica e absorção.

Fonte: Autor

Tabela 13. Resultados do teste de densidade relativa e absorção do agregado miúdo

Dados	Valor
Peso da amostra no estado seco (g)	498,5
Peso da amostra no estado SSS (g)	501,4
Peso do picnómetro + água (g)	659,4
Peso do picnómetro + água + amostra (g)	971,8
<b>Absorção (%)</b>	0,6
<b>Densidade relativa</b>	2,68

### 3.3.3.4 Massa específica e absorção de agregados graúdos

A massa específica é a relação entre a massa de um corpo e o seu volume, referindo-se à massa volúmica das partículas individuais, e não à massa agregada em conjunto. Para este teste são necessários o peso da amostra seca, o peso da amostra no estado saturado com superfície seca e o peso da amostra na água. A Figura 22 ilustra o procedimento usado para a colocação da amostra no estado saturado com superfície seca (SSS) e a pesagem da amostra na água respectivamente, e a Tabela 14 apresenta os resultados da densidade relativa e absorção do agregado graúdo.



Figura 22. Processo de secagem da superfície dos agregados e pesagem dos agregados na água.

Fonte: Autor

Tabela 14. Resultados do teste de densidade relativa e absorção do agregado graúdo

Dados	Agregado grosso	Agregado médio
Peso da amostra no estado seco (g)	3118,0	2183,2
Peso da amostra no estado SSS (g)	3127,4	2189,9
Peso da amostra na água (g)	1933,1	1359,9
<b>Absorção (%)</b>	0,63	0,3
<b>Densidade relativa</b>	2,61	2,63

### 3.3.3.5 Índice de lamelação e alongamento

Refere-se aos métodos para determinação do Índice de lamelação e alongamento dos agregados, que avaliam a forma das partículas.

#### 3.3.3.5.1 Índice de lamelação

- Mede a proporção de partículas lamelares (achatadas).
- Um agregado é considerado achatada se a sua espessura  $< 0,6$  da média do tamanho da peneira.
- Determinação: passa-se o material por peneiras normalizadas e usa-se um calibre de espessura
- O índice é dado pela percentagem em massa de partículas classificadas como lamelares.

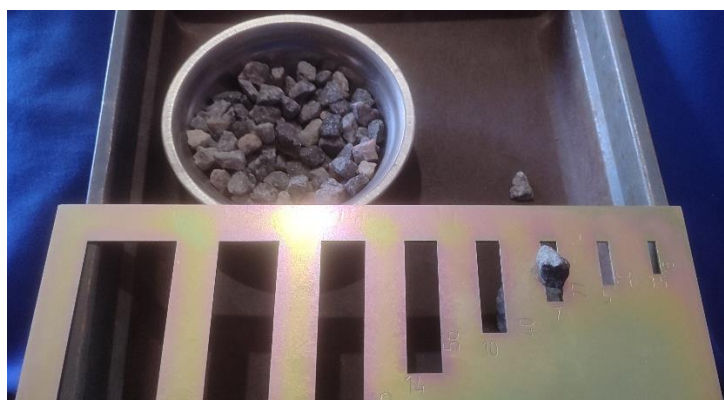


Figura 23. Realização do ensaio do índice de lamelação.

Fonte: Autor

### 3.3.3.5.2 Índice de Alongamento

- Mede a proporção de partículas alongadas.
- Uma partícula é considerada *alongada* se o comprimento > 1,8 vezes a média do tamanho da peneira.
- Determinação: usa-se um calibre de comprimento
- O índice é a percentagem em massa de partículas alongadas.



Figura 24. Realização do ensaio do índice de alongamento.

Fonte: Autor

A Tabela 15 ilustra os resultados obtidos do índice de lameridade e alongamento para os agregados grossos e médios

Tabela 15. Resultados do ensaio de Índice de lamelação e alongamento

Índice	Agregado grosso	Agregado médio
Lameridade (%)	10,0	11,1
Alongamento (%)	6,1	7,2

### 3.3.4 Definição e ajuste do traço

Esse processo exigiu diversas tentativas experimentais, sobretudo para determinar a dosagem adequada de adjuvantes, de modo a garantir a trabalhabilidade e a fluidez necessárias sem comprometer a resistência e a coesão da mistura.

O primeiro passo consiste na escolha dos materiais, que é realizada por requisitos técnicos e económicos. Depois, de acordo com o passo 2, é definido o esqueleto granular. O empacotamento é realizado de dois em dois materiais (de maior para menor

granulometria). Primeiro foram empacotadas as britas de dimensão máxima de 19 e 12,5 mm para seguirem com compacidade com a areia regular.

Iniciou-se a determinação dos vazios com 100% de brita 19 mm e 0% de brita 12,5 mm, e prosseguiu-se diminuindo 10% do primeiro, em massa, e adicionando-se o mesmo percentual de brita 12,5 mm até estar próximo de se obter o empacotamento máximo para a substituição passar a 5%, de forma a obter um valor mais preciso. No final, observou-se a mistura de agregados ideal em 45-55%, conforme mostra a Tabela 16. Na mesma tabela estão os valores da massa unitária da mistura (Munit), determinados em laboratório conforme o procedimento de dosagem e a massa específica da mistura (Mesp mistura), calculada por meio da equação (2) e os vazios (%), calculados graças à equação (3).

Tabela 16. Ensaio de compacidade entre a brita 19 mm e a brita 12,5 mm.

% de brita 19 mm	% de brita 12,5 mm	Munit mistura	Mesp mistura	Vazios (%)
100	0	1630	2610	37,5
90	10	1645	2612	37,0
80	20	1655	2614	36,7
70	30	1670	2616	36,2
60	40	1650	2618	37,0
50	50	1680	2620	35,9
45	55	1695	2621	35,3
40	60	1675	2622	36,1
30	70	1670	2624	36,4
20	80	1635	2626	37,7
10	90	1615	2628	38,5
0	100	1600	2630	39,2

A Tabela 17 ilustra o empacotamento da mistura anterior, as britas 19 mm e 12,5 mm com a areia média, seguindo o procedimento de dosagem proposto.

Tabela 17. Ensaio de compacidade entre a brita 19 mm, a brita 12,5 mm e a areia.

% de brita 19 mm/ Brita 12.5 mm	% da areia	Munit mistura	Mesp mistura	% Vazios
100	0	1695	2610	35,1

90	10	1720	2613	34,2
80	20	1730	2616	33,9
70	30	1745	2619	33,4
65	35	1785	2620,5	31,9
60	40	1830	2622	30,2
50	50	1790	2625	31,8
40	60	1725	2628	34,4
30	70	1695	2631	35,6
20	80	1635	2634	37,9
10	90	1585	2637	39,9
0	100	1560	2640	40,9

Observa-se que a composição óptima foi de 60% da mistura entre as brita 19 mm e 12,5 mm e 40% de areia, resultando em um índice de vazios de 30,8%. A dosagem final dos agregados ficou composto da seguinte forma: Areia=40%; Brita12,5mm=33% e Brita19mm=27%.

Com os valores, pode-se calcular os traços unitários dos betões e simplesmente misturá-los na betoneira para a determinação da relação a/c e do teor de adjuvante superplastificante, conforme os passos 3 e 4, e para moldar os CP's para os ensaios futuros, atendendo ao passo 5. Provavelmente, os BAC não segregarão nem ocorrerá excesso de material fino. Os traços unitários do BAC estão na Tabela 18

Família	Cimento	Areia	Brita 12,5mm	Brita 19mm	a/c	Adjuvante (%)	$\alpha$
4	1	1,6	1,32	1,08	0,38	1,4	52,0
5	1	2	1,65	1,35	0,43	1,4	50,0
6	1	2,4	1,98	1,62	0,50	1,4	48,6

, enquanto que os consumos de materiais estão na Tabela 19. Foi realizada a mistura de pontos extremos para que se obtivesse uma faixa capaz de atingir valores abrangentes.

O teor de adjuvante superplastificante pode ser mantido em 1,4% e foi se ajustando a razão a/c até que cada família apresentasse propriedades auto-compactáveis.

Tabela 18. Traços unitários do BAC com areia grossa empacotado com 2 britas.

Família	Cimento	Areia	Brita 12,5mm	Brita 19mm	a/c	Adjuvante (%)	$\alpha$
4	1	1,6	1,32	1,08	0,38	1,4	52,0
5	1	2	1,65	1,35	0,43	1,4	50,0
6	1	2,4	1,98	1,62	0,50	1,4	48,6

4	1	1,6	1,32	1,08	0,38	1,4	52,0
5	1	2	1,65	1,35	0,43	1,4	50,0
6	1	2,4	1,98	1,62	0,50	1,4	48,6

Tabela 19. Consumos de materiais calculados para o BAC (kg/m<sup>3</sup>).

Família	Cimento	Areia	Brita 12,5mm	Brita 19mm	Água	Adjuvante	Massa específica
4	437,1	699,3	577,0	472,1	166,1	6,1	2357,7
5	366,1	732,2	604,0	494,2	157,4	5,1	2359,1
6	312,9	750,9	619,5	506,9	156,4	4,4	2351,1

Para avaliar o desempenho no estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios:

- **Slump Flow Test** – Avaliação da fluidez e capacidade de preenchimento;
- **J-Ring Test** – Avaliação da habilidade de passagem entre armaduras simuladas;
- **T50 Time** – Determinação do tempo de escoamento até 50 cm de diâmetro.

Estes ensaios foram fundamentais para confirmar se cada traço ajustado apresentava as propriedades requeridas a um BAC.

### 3.3.4.1 Slump Flow Test – Avaliação da fluidez e capacidade de preenchimento

Como antes descrito, este ensaio é o mais feito para avaliar o desempenho do BAC e foi o ensaio determinante para a aprovação do traço. As Figura 25 mostra o processo e medição do espalhamento e neste é notório uma leve exsudação, sendo esta considerada **estável** conforme ilustra a Tabela 2 sugerida pela norma ASTM C1611/C1611M - 05.



Figura 25. Medição do teste de espalhamento (Slump Flow).

Fonte: Autor



Figura 26. Aspecto visual do betão da família 4 no ensaio de espalhamento.

No decorrer deste ensaio, foi possível medir em simultâneo o T50 para cada traço de betão dosado. A Tabela 20 ilustra os resultados colhidos nesse ensaio.

Tabela 20. Resultado do ensaio de espalhamento.

Família	D1 (mm)	D2 (mm)	Espalhamento (mm)	VIE	T50 (s)
4	645	635	640	1	5
5	660	640	650	1	5
6	655	645	650	1	4

### 3.3.4.2 J-Ring Test – Avaliação da habilidade de passagem entre armaduras simuladas

Este ensaio foi feito posteriormente ao ensaio de espalhamento, tendo sido usado o mesmo cone usado no ensaio de espalhamento e o J-ring com armaduras de 12mm de diâmetro. A Figura 27 ilustra o betão passando pelas armaduras e este mostrou-se



Figura 27. Amostra de betão passando por armaduras no teste de J-ring.

Fonte: Autor

A Tabela 21 mostra os resultados finais dos ensaios do BAC para cada família estudada.

Tabela 21. Resultado dos ensaios para verificar as propriedades do BAC.

Família	J-ring BSj (mm)
4	8
5	8
6	7

### 3.3.5 Ensaio de resistência à compressão

A fim de avaliar o desempenho no estado endurecido, foram moldados provetes cilíndricos conforme a norma ASTM C31. Os ensaios de compressão (ASTM C39) foram realizados aos 3, 7 e 28 dias, permitindo observar a evolução da resistência mecânica do BAC ao longo do tempo de cura (ver Figura 28 e Figura 29)



Figura 28. Fabrico de corpos de prova do BAC.

Fonte: Autor



Figura 29. Ensaio da resistência à compressão do BAC.

Fonte: Autor

A Tabela 22 apresenta o resumo dos resultados obtidos no ensaio de compressão do BAC de cada família nas idades escolhidas.

Tabela 22. Resultados das propriedades no estado endurecido

Família (m)	Resistência à compressão (MPa)			a/c
	3 dias	7 dias	28 dias	
4	35	44,6	51,9	0,38
5	22,7	34,5	43,1	0,43

6	16,3	22,5	31,7	0,50
---	------	------	------	------

O passo seguinte é determinar as equações de comportamento e os coeficientes de correlação para a família com BAC.

Tabela 23. Equações de comportamento e  $R^2$  para os BAC ensaiados

Propriedade		Equação de comportamento	$R^2$
Resistência à compressão (Lei de Abrams)	3 dias	$f_{cj3d} = \frac{361,83}{524,93^{a/c}}$	0,97
	7 dias	$f_{cj7d} = \frac{397,51}{307,31^{a/c}}$	0,998
	28 dias	$f_{cj28d} = \frac{250,86}{61,95^{a/c}}$	0,998
Traço unitário 1:m (lei de Lyse)		$m = 16,514 a/c - 2,211$	0,9908

Estas equações podem ser usadas para quantificar de acordo com a resistência desejada o valor da razão  $a/c$  e o respectivo traço unitário, sendo esses uma estimativa para aproximada para as proporções e matérias usados neste ensaio.

### 3.3.5.1 Diagrama de dosagem da família do BAC estudado

As Figura 30 e Figura 31 representam as resistências à compressão em várias idades e o traço unitário 1:m, que é variável para o método. Para (Tutikian & Dal Molin, 2008), estes diagramas devem ser utilizados apenas para aproximações, pois para cálculos precisos usam-se as equações de comportamento.

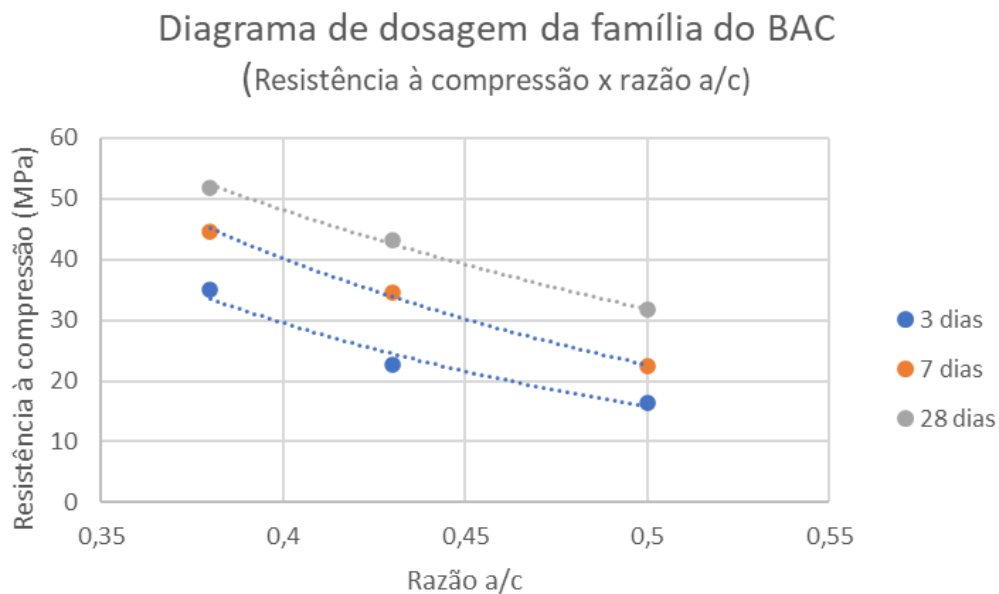


Figura 30. Resistencia à compreensão x Razão a/c

Fonte: Autor

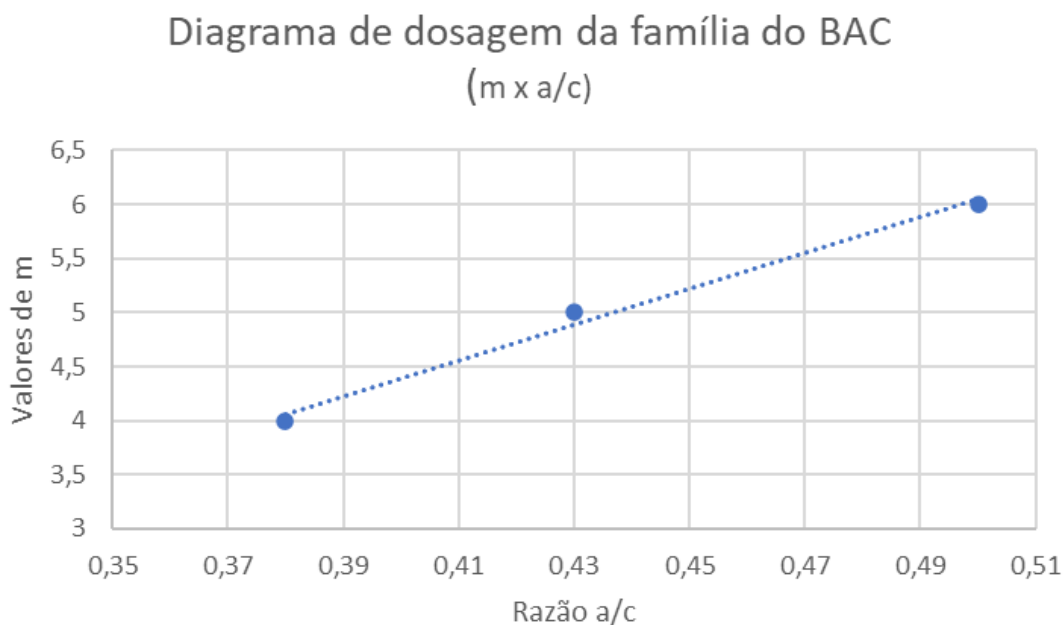


Figura 31. Valores de m x razão a/c.

Fonte: Autor

### 3.3.6 Conclusão do experimento

A realização da presente experiência permitiu demonstrar a viabilidade da elaboração e ensaio do BAC utilizando os materiais disponíveis em Moçambique, aplicando o método de dosagem Tutikian e Dal Molin. Foi possível efectuar o ensaio de espalhamento, sendo

necessárias algumas repetições para o devido ajuste da quantidade de água, de forma a garantir a consistência e fluidez adequadas do material.

Nos ensaios de resistência, verificou-se que os materiais apresentaram um baixo índice de vazios, característica essencial do BAC, que se distingue pela reduzida presença de poros visíveis. Este resultado confirma a adequação dos materiais locais e do método aplicado para a obtenção de um BAC com propriedades satisfatórias.

### 3.4 Análise Comparativa entre o BAC e BC

O objectivo deste capítulo é apresentar uma análise comparativa entre o BAC e o betão convencional, ambos posteriormente estudados. Conforme referido anteriormente, o BAC foi analisado em três famílias distintas. Com base nas resistências obtidas nesses grupos, procuraram-se betões convencionais com resistências aproximadas, produzidos em Moçambique.

Para o efeito, utilizaram-se composições desenvolvidas no Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), cujos resultados serviram de referência para a análise comparativa, considerando três aspetos principais: dosagem, comportamento e custos de produção.

Para o BC, foram moldados provetes cúbicos. Por essa razão, os valores de resistência obtidos nestes provetes tiveram de ser ajustados, de modo a corresponderem às resistências que seriam obtidas caso se tratasse de provetes cilíndricos, permitindo assim a comparação directa com os provetes cilíndricos do BAC.

Para efectuar essa conversão, recorreu-se ao estudo feito por Carminho (2012), e com base neste, relacionou-se as resistências de provetes cúbicos e cilíndricos conforme mostra a equação (13).

$$f_{c,cyl} = 0,5382f_{c,cube}^{1,1413} \quad (13)$$

Onde:

- $f_{c,cyl}$  – Resistência a compressão do provete cilíndrico
- $f_{c,cube}$  – Resistência a compressão do provete cúbico

Com base nessa equação (13), procederam-se aos ajustes dos valores, conforme ilustrado a Tabela 24.

Tabela 24. Ajuste da resistência de provetes cúbicos para cilíndricos

Resistencia aos 28 dias dos provetes cúbicos	Resistencia cilíndrica equivalente
47,8	44,43
43,1	39,48
32,65	28,76

Os resultados dos ensaios feitos ao BC encontram-se no ANEXO 5.

### 3.4.1 Diferença entre o BAC e o BC na fase de produção

Uma das principais diferenças entre o BAC e o BC reside na sua dosagem. O Betão Convencional já possui dosagens padronizadas, testadas e comprovadas por diversos laboratórios e especialistas, sendo amplamente utilizadas. Por outro lado, o BAC ainda necessita de maior validação e regulamentação das suas dosagens.

Durante a produção, notou-se que o uso de adjuvantes é essencial no BAC, pois sem eles seria necessário aumentar drasticamente o volume de finos para alcançar a trabalhabilidade desejada. Já no BC, os adjuvantes podem ser dispensáveis, sem grandes impactos na sua trabalhabilidade.

A produção do BAC mostrou-se mais complexa e demorada, exigindo vários ensaios e ajustes na dosagem, especialmente na relação água/cimento e na quantidade de adjuvante. A verificação da trabalhabilidade no BAC é também mais exigente, pois envolve a análise de três parâmetros fundamentais: capacidade de passagem, resistência à segregação e capacidade de preenchimento. Isto requer múltiplos ensaios específicos, ao contrário do BC, que geralmente utiliza apenas o ensaio de abaixamento (*Slump Test*).

#### 3.4.1.1 Dosagens

Foram analisadas três composições para cada tipo de betão. De forma geral, observou-se que a quantidade de cimento não apresentou grandes variações entre as composições, situando-se entre 313 e 437 kg/m<sup>3</sup>, o que demonstra que o desempenho final não dependeu apenas do teor de ligante, mas sobretudo da presença de adjuvantes e da proporção entre os agregados, tal como ilustra a Tabela 25.

Tabela 25. Comparação da composição do BAC e BC. (\*19mm para BAC e 25mm para BC)

Constituintes	BAC	BC	BAC	BC	BAC	BC
<b>Cimento</b> (kg/m <sup>3</sup> )	437,1	419	366,1	418,9	312,9	313,5
<b>Areia</b> (kg/m <sup>3</sup> )	699,3	669,9	732,2	650,4	750,9	640,8
<b>Agregado Miúdo</b> (kg/m <sup>3</sup> )	577,0	285,8	604,0	0	619,5	231,6
<b>Agregado Grosso*</b> (kg/m <sup>3</sup> )	472,1	604,8	494,2	870,4	506,9	678
<b>Água</b> (kg/m <sup>3</sup> )	166,1	206,6	157,4	234,5	156,4	210,4
<b>SP</b> (kg/m <sup>3</sup> )	6,1	0	5,1	0	4,4	0
<b>Massa Volúmica</b> (kg/m <sup>3</sup> )	2357,7	2186,1	2359,1	2174,2	2351,1	2074,3
<b>Razão a/c</b>	0,38	0,49	0,43	0,56	0,50	0,67
<b>Resistencia aos 28 dias (Mpa)</b>	51,9	44,43	43,1	39,48	31,7	28,76

No betão convencional (BC), notou-se o predomínio do agregado graúdo, com teores médios entre 600 e 870 kg/m<sup>3</sup>, e a ausência de adjuvantes químicos. Por outro lado, no BAC, a quantidade de agregado graúdo foi reduzida (entre 470 e 506 kg/m<sup>3</sup>), sendo compensada por um maior volume de areia.

A razão água/cimento (a/c) foi, em média, inferior no BAC (0,38–0,50) em comparação ao BC (0,54–0,67), o que demonstra uma melhor eficiência de hidratação e uma redução da porosidade no BAC. Esta redução foi possível graças à acção do superplastificante, que permitiu manter a fluidez necessária sem o aumento do teor de água.

Em termos de massa volúmica, observou-se que o BAC apresentou valores médios de aproximadamente 2356 kg/m<sup>3</sup>, enquanto o betão convencional registou valores na ordem de 2145 kg/m<sup>3</sup>.

Esta diferença de cerca de 10% indica que o BAC é mais denso e compacto, devido ao melhor arranjo distribuição das partículas, influenciadas essencialmente pela presença de Superplastificante, que reduzem os vazios internos.

O processo de auto-compactação sem vibração contribui ainda para uma melhor coesão e menor incorporação de ar, reforçando a densidade e homogeneidade do material.

Assim, a maior massa volúmica do BAC confirma a eficiência do método de Tutikian e Dal Molin, que produz um betão mais homogéneo e com melhores propriedades

mecânicas e durabilidade quando comparado ao betão convencional obtido pelo método de Faury.

### 3.4.1.2 Custo de produção

De modo a comparar os custos de produção do BAC e do Betão Convencional (BC), foi realizado um levantamento dos preços dos principais materiais constituintes utilizados em cada um deles.

Deve-se salientar que estes custos têm apenas carácter comparativo neste relatório, podendo variar de acordo com o fornecedor, localização e época de aquisição dos materiais.

A seguir apresenta-se a Tabela 26, que mostra os preços unitários dos materiais utilizados na produção dos betões estudados. Estes valores servem como base de cálculo para estimar os custos de produção de cada tipo de betão analisado.

*Tabela 26. Custos unitários dos materiais constituintes.*

<b>Constituintes</b>	<b>Preço base (MZN)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço/kg (MZN)</b>
Cimento	420.00	50 kg	8.40
Areia	1100.00	1 m <sup>3</sup>	0.71
Agregado 12,5	1200.00	1 m <sup>3</sup>	0.75
Agregado 19	1300.00	1 m <sup>3</sup>	0.80
Sp	350.00	1 litro	371.00
Água	50.00	1 m <sup>3</sup>	0.05

Com base nos custos unitários e nas quantidades determinadas na fase de dosagem, estimaram-se os custos de produção por metro cúbico para cada composição estudada, tanto para o BAC como para o BC.

A Tabela 27 apresenta os custos de produção por m<sup>3</sup> e as respectivas resistências à compressão aos 28 dias para as três composições de cada tipo de betão. Estes valores foram obtidos com base nos consumos e preços apresentados anteriormente.

Tabela 27. Custo de produção por dosagem e resistência aos 28 dias.

BAC		BC	
Resistencia aos 28 dias	Custo de produção/m <sup>3</sup> (MZN)	Resistencia aos 28 dias	Custo de produção/m <sup>3</sup> (MZN)
51,9	7257,00	44,43	4705,00
43,1	6353,00	39,48	4649,00
31,7	5664,00	28,76	3817,00

A partir dos custos estimados, construiu-se o gráfico que relaciona o custo de produção em função da resistência à compressão aos 28 dias.

Observa-se uma tendência crescente, indicando que quanto maior a resistência, maior é o custo de produção.

A Figura 32 representa a variação do custo de produção em função da resistência à compressão aos 28 dias, evidenciando a diferença entre o BAC e o BC.

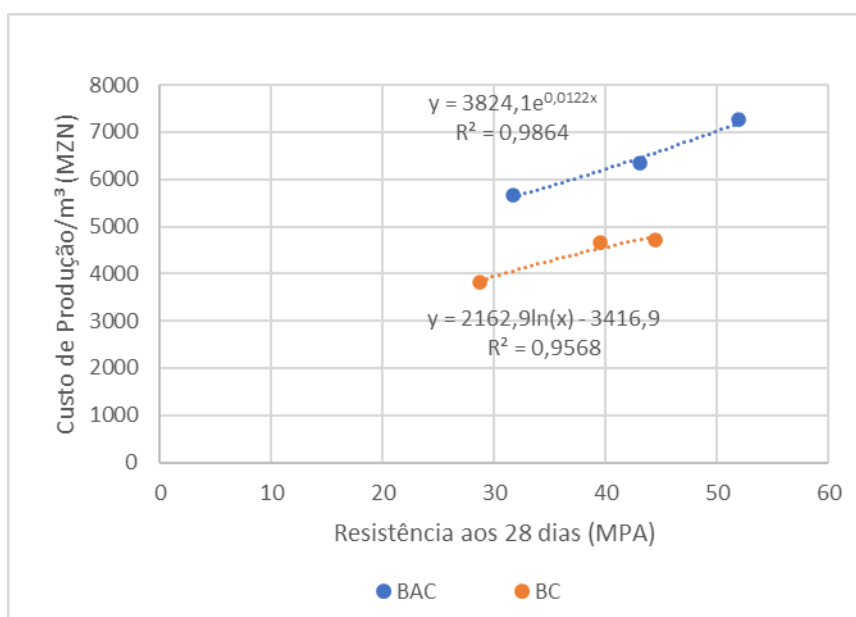


Figura 32. Relação entre custo de produção e resistência à compressão (BAC vs BC).

Fonte: Autor

Com base nas equações obtidas a partir das curvas do gráfico anterior, foi possível estimar os custos de produção para resistências base normalmente utilizadas em obras correntes.

A Tabela 28 apresenta as estimativas de custo de produção para diferentes níveis de resistência à compressão.

Nota-se que, em média, o custo do BAC é cerca de 40% superior ao do BC, o que confirma os dados fornecidos pelas centrais de betão.

Esta diferença deve-se principalmente ao uso de adjuvantes na composição do BAC.

*Tabela 28. Estimativa de custos de produção para resistências usuais.*

Resistencia aos 28 dias	Custo de produção/m <sup>3</sup> (MZN)		Diferença Percentual
	BAC	BC	
20	4880,90	3062,57	59,37
25	5187,90	3545,21	46,34
30	5514,20	3939,55	39,97
35	5861,00	4272,96	37,16
40	6229,70	4561,78	36,56
45	6621,50	4816,53	37,47
50	7038,00	5044,41	39,52

Importa referir que esta comparação não inclui os custos de colocação, ensaios laboratoriais ou controlo de qualidade, os quais podem igualmente apresentar variações significativas.

- Nos ensaios de controlo de qualidade, o BAC exige um número superior de testes (como espalhamento, funil em V, caixa L, T500, etc.) para garantir a sua trabalhabilidade e coesão, enquanto o BC normalmente requer apenas um ensaio de abatimento para o mesmo fim.
- Já no que diz respeito ao custo de colocação, o BAC tende a ser mais económico, pois dispensa vibração e necessita de menos mão-de-obra, ao contrário do BC, que exige maior número de operários e equipamento durante a betonagem.

Em síntese, o BAC apresenta um custo de produção mais elevado, cerca de 50% superior ao do BC, segundo as centrais de betão analisadas.

Contudo, esta diferença pode ser parcialmente compensada pela redução de custos operacionais na fase de colocação e pela maior eficiência e durabilidade do BAC, justificando a sua aplicação em estruturas de maior exigência técnica.

## **4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Através do levantamento bibliográfico, foi possível compreender os princípios, vantagens e exigências do BAC. Os inquéritos realizados a profissionais da construção civil e a centrais de betão demonstraram que o uso do BAC em Moçambique ainda é muito limitado, representando cerca de apenas 1% da produção total de betão. O principal entrave identificado é o desconhecimento técnico da tecnologia, evidenciando a necessidade urgente de maior divulgação e capacitação técnica sobre o tema junto dos intervenientes do sector.

Os ensaios laboratoriais realizados, com base no método de dosagem de Tutikian e Dal Molin, demonstraram que é possível produzir BAC com os materiais disponíveis localmente. Apesar de o BAC apresentar exigências mais elevadas em termos de controlo de qualidade e ajuste fino da dosagem, especialmente no que diz respeito ao comportamento dos adjuvantes, os resultados obtidos indicam que o método utilizado é eficaz e permitiu alcançar as propriedades auto-compactáveis desejadas com poucos ajustes.

Em síntese, o BAC não se apresenta como um substituto do betão convencional, mas como uma alternativa técnica e economicamente viável para casos específicos. A sua baixa utilização no país deve-se mais à falta de conhecimento do que a limitações técnicas.

### **4.1 Recomendações**

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se:

- Maior divulgação técnica e académica sobre o BAC junto a engenheiros, arquitectos e técnicos de obras.
- Realização de workshops e formações práticas para profissionais da construção civil, focando na produção, aplicação e controlo de qualidade do BAC.
- Incentivo ao investimento em investigação e desenvolvimento nas centrais de betão para adaptação de métodos de produção do BAC.
- Inclusão de conteúdos sobre BAC nos currículos dos cursos de engenharia civil em instituições de ensino em Moçambique.

## 4.2 Desenvolvimentos Futuros

O estudo realizado permitiu analisar a viabilidade de aplicação do BAC em Moçambique, considerando aspectos de conhecimento técnico, produção em centrais bem como as suas vantagens e aplicações. No entanto, existem várias possibilidades de complementar e dar seguimento ao estudo realizado. Sugere-se que futuras investigações explorem:

- Estudos de custo-benefício comparando o BAC ao betão convencional em diferentes tipos de obras (edifícios altos, pontes, túneis, etc.).
- Avaliação do desempenho do BAC em diferentes regiões de Moçambique, considerando variabilidade de materiais locais (areias, britas e adjuvantes).
- Desenvolvimento de métodos de dosagem adaptados especificamente aos recursos disponíveis no mercado moçambicano.
- Impacto ambiental do uso do BAC, considerando economia de energia e redução de ruído (por não exigir vibração).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Livros, Artigos e Dissertações

- Naik, T. R., Kumar, R., Ramme, B. W., & Canpolat, F. (2011). *Construction and Building Materials* (Vol. 25). United States.
- Aitcin, P.-C. (1998). *High Performance Concrete*. New York: E & FN SPON.
- Ali, M. A. (2019). Self-compacting concrete (SCC). Em *Advanced building materials*.
- Almeida Filho, F. M., Barragán, B. E., Casa, J. R., & El Debs, A. L. (2010). Hardened properties of self-compacting concrete. Em J. M. Adam (Ed.), *Construction and building materials* (pp. 1608-1615). ELSEVIER.
- American Concrete Institute. (2000). Cement and concrete terminology. Em H. Chaiman, G. Bollin, F. Erlin, F. Gibbe, R. Henry, E. Holub, . . . T. Rutenbeck (Ed.), *ACI 116R-00*, (p. 74).
- American Concrete Institute. (2007). Self-Consolidating Concrete. *ACI 237R-07*.
- American Society for Testing and Materials. (2019). *Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *Concreto autodensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASTM. (2007). *Standard specification for portland cement*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2024). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. USA.
- Bager, D. H., Geiker, M. R., & Jensen, R. M. (2001). *Rheology of Self-Compacting Mortars* (26 ed.). Nordic Concrete Research.
- Barbosa e Silva, M. O. (2008). *Produção do concreto auto-adensável (CAA) com a utilização de materiais da região de Belém-PA*. Belem: Universidade Federal do Pará.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F., & Walters, K. (1989). *An Introduction to Rheology*. New York: Elsevier.
- Barrela, E. J. (2010). *COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO BETÃO AUTOCOMPACTÁVEL*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Bartos, P. J. (2005). *Self-compacting concrete in bridge construction Guide for design and construction*. cement and concrete industry.
- Bouwman, A., Bosma, J., Vonk, P., Wesselingh, H., & Frijlink, H. (2004). Which shape factor(s) best describe granules. Em *Powder Technology 146* (pp. 66-72).
- Bui, V., & Montgomery, D. (1999). Mixture proportioning method for self-compacting high performance concrete with minimum paste volume. Em A. Skarendahl, & O. Oetersson (Eds.), *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete* (pp. 373-384).
- Calado, C. F., Camões, A., Junior, B., & Jalali, S. (2015). *CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA), MAIS DO QUE ALTERNATIVA AO CONCRETO CONVENCIONAL (CC)*. Recife: Universidade de Pernambuco.

- Carminho, F. J. (2012). *Resistencia do betão a compressão em cubos VS cilindros*. Universidade Nova, Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Choi, Y. W., Kim, Y. J., Shin, H. C., & Moon, H. Y. (2006). An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete. Em *Cement and concrete research* (Vol. 36, pp. 1595-1602).
- Coppola, L. (2000). Self-compacting concrete. Em *Concrete technology* (pp. 42-47).
- Daczko, J. A. (2012). *Self-Consolidating Concrete Applying What We Know*. London: Spon Press.
- Daudt, J. (3 de Maio de 2023). Fonte: Bernado Tutikian: bernadotutikian.com.br
- Desnerck, P. (2012). Properties of fresh self-compacting concrete mixes. Maceió.
- Domone, P. (2000). Part VI-Mix Design. Em A. Skarendahl, & O. Petersson, *Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC* (pp. 49-65).
- Domone, P. L. (2006). Self-Compacting Concrete: An Analysis of 11 Years of Case Studies. Em *Cement and Concrete Composites* (Vol. 28, pp. 197-208).
- EFNARC. (2002). *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*. UK.
- Erdogan, S. T., & Fowler, D. (2005). *Determination of aggregate shape properties using x-ray tomographic methods and the effect of shape on concrete reology*. Reasearch report, University of Texas, Austin.
- Ferraz, A. L. (2009). *Avaliação de retração e fluencias do concreto auto adensavel para aplicação em elementos pre-moldados*. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Figueiras, H. I. (2006). *ESTUDO E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE COMPOSIÇÕES DE BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL AFERIÇÃO DAS SUAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DURABILIDADE*. Universidade do Porto, Porto.
- Figueiras, H. I. (2013). *Performance-based design of SCC to ensure durability of concrete structures*. Tese de Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Gomes, P. (2002). *Optimization and chacterization of high-strength self-compacting concrete*. Tese de doutorado, Barcelona.
- Gomes, P. C., & Barros, A. (2009). *Métodos de dosagem de concreto autoadensável* (Vol. I). São Paulo, Brasil: Pini.
- Goodier, C. (2003). *Development of self-compacting concrete*. ICE, Structures and Buildings.
- Hameed , M. A. (2005). *A study of mix design and durability of self compacting concrete*. Master of Science in civil engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.
- Hu, C., & Larrard, F. (1996). *The rheology of fresh high performance concrete* (Vol. 26).
- Jeknavorian, A., Jardine, L., Ou, C., Koyata, H., & Folliard, K. (2003). Interaction of Superplasticizers with Clay-Bearing Aggregates. Em V. M. Malhotra (Ed.), *Seventh CANMET/ACI International Symposium on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete* (pp. 143-159).
- Khayat, K. H. (1999). Workability, Testing and Performance of Self Consolidated Concrete. Em *ACI Materials Journal*, V. 96, No. 3, May-June (pp. 346-352).

- Koehler, E. P., & Fowler, D. (Eds.). (s.d.).
- Koehler, E. P., & Fowler, D. W. (2007). *ICAR Project 108: Aggregates in Self-Consolidating Concrete*. University of Texas, Aggregates Foundation for Technology, Research and Education. Texas: INTERNATIONAL CENTER FOR AGGREGATE RESEARCH.
- Koehler, E. P., Fowler, D., Foley, E., Rogers, G., Watanachet, S., & Jung, M. J. (2007). *Self-Consolidating Concrete for Precast Structural Applications: Mixture Proportions, Workability, and Early-Age Hardened Properties*. Technical Report, University of Texas, Austin.
- Lachemi, M., Hossain, K., Lambros, V., & Bouzoubaa, N. (2003). Em *ACI Materials Journal*, 100 (pp. 419-425).
- Maharashtra Engineering Research Institute. (2019). *WRD HANDBOOK CHAPTER NO. 3-Self Compacting Concrete*. WATER RESOURCE DEPARTMENT.
- Malherbe, J. S. (2015). *Self-compacting concrete versus normal compacting concrete: A techno-economic analysis*. degree of master, Stellenbosch University.
- Manolia. (2019). *Self-compacting concrete (SCC)*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties and materials* (4 ed.). McGraw-Hill Education.
- Melo, K. (2005). *Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário*. Florianópolis.
- Nepomuceno, M. C. (2005). *METODOLOGIA PARA A COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS*. Tese de Doutorado, UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, Covilhã.
- Nielsson, I., & Wallevik, Ó. H. (2003). *Rheological evaluation of some empirical test methods-preliminary results* (3 ed.). Reykjavik, Iceland.
- Nunes, S. C. (2001). *BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL: TECNOLOGIA E PROPRIEDADES*. Porto.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). *Self-Compacting concrete* (Vol. 1). Japao: Journal of advanced concrete technology.
- Okamura, H., & Ozawa, K. (1995). Mix design for self-compacting concrete. Em *Concrete Library of JSCE* (pp. 107-120).
- Okamura, H., Ozawa, K., & Ouchi, M. (2000). *Self-compacting concrete* (1 ed., Vol. 1). Tokyo, Japão.
- Okrajnov-Bajić, R., & Vasović, D. (2009). *SELF-COMPACTING CONCRETE AND ITS APPLICATION IN CONTEMPORARY ARCHITECTURAL PRACTISE*.
- Oliveira, R. S. (2011). *CONCRETO AUTOADENSÁVEL: SOLUÇÃO OU MODISMO*. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Rio de Janeiro.
- Ozol, M. A. (1978). Shape, Surface Texture, Surface Area and Coatings. Em A. S. MATERIALS, *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials* (pp. 573-628). Philadelphia.
- Palma, G. (2001). Ensayos de trabajabilidad al hormigón autocompactante. *Revista BIT*.
- Peterssen, O. (1999). Workability. Em *Brite EuRan Program* (pp. 1-56).

- Powers, T. C. (1968). *The properties of fresh concrete*. Unity states: John Wiley & Sons.
- Repetto, L. W. (2005). Concretos de última geração: presente e futuro. Em G. C. Isaia (Ed.), *CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações* (Vol. II). Ibracon.
- Roussel, N., Nguyen, N., & Coussot, P. (2006). Correlation between L-box test and rheological parameters of homogeneous yield stress fluid. Em *Cement and concrete research* (Vol. 36, pp. 1789-1796).
- Schutter, G., Bartos, P. J., Domone, P., & Gibbs, J. (2008). *Self-Compacting Concrete*. Whittles Publishing.
- Sfikas, I. P. (2017). *Self-Compacting Concrete: History & Current Trends*. London.
- Sharma, R. (2024). *Powder type self-compacting concrete market research report 2033*.
- Silva, P., & Brito, J. (2009). *Betão auto-compactável (BAC) - estado actual do conhecimento*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Smith, M. R., & Collis, L. (Eds.). (2001). *Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes* (third ed.). London: Geological Society.
- Sousa, L. R. (2021). *Desenvolvimento de betão auto-compactável com baixo teor de cimento aplicado a estruturas pré-esforçadas*. Dissertação de mestrado, Bragança.
- Struble, L., & Sun, G.-K. (1995). Viscosity of Portland Cement Paste as a Function of Concentration. Em *Advanced Cement Based Materials* (Vol. II, pp. 62-69). Illinois.
- Struble, L., Szecsy, R., Lei, W.-G., & Sun, G.-K. (1998). Rheology of Cement Paste and Concrete. Em *Cement, Concrete, and Aggregates* (Vol. 20, pp. 269-277).
- Tangtermsirikul, S., & Kamal, K. (2000). *Self-Compacted Concrete-State-of-the-Art Report of RILEM TC 174-SCC*. (A. Skarendahl, & O. Petersson, Eds.)
- Tutikian, B. F. (2004). *Método para dosagem de concretos auto-adensáveis*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Tutikian, B. F., & Dal Molin, D. C. (2008). *Concreto Auto-Adensável* (1 ed.). São Paulo, Brasil: PINI LTDA.
- Zia, P., Nunez, R., & Mata, L. (2005). *Implementation of Self-Consolidating Concrete (SCC) for Prestressed Concrete Girders*. Department of Civil, North Carolina.

## **Normas e Especificações**

ASTM C125 – 15a, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, 2015;

ASTM C127 – 24, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, 2024;

ASTM C128 – 22, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, 2022;

ASTM C136/136M – 19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, 2019;

ASTM C1611C/C1611M – 05, Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring, 2008;

ASTM C1621C/C1621M – 08, Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, 2005

ASTM C150/150M – 22, Standard specification for portland cement, 2022;

ASTM C29/29M – 23, Standard Test Method for Bulk Density (‘‘Unit Weight’’) and Voids in Aggregate, 2023;

ASTM C31/31M – 24b, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, 2024;

ASTM C39/39M – 24, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2024;

ASTM D4791 – 19, *Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate*, 2019

BS 812 – 105.1: 1989, *Methods for determination of particle shape – Flakiness index*, 1989;

BS 812 – 105.2: 1990, *Methods for determination of particle shape – Elongation index of coarse aggregate*, 1990

## **ANEXOS**

**ANEXO 1:** Relatório do inquérito feito aos profissionais da construção civil

**ANEXO 2:** Relatório do inquérito feito as Centrais de Betão

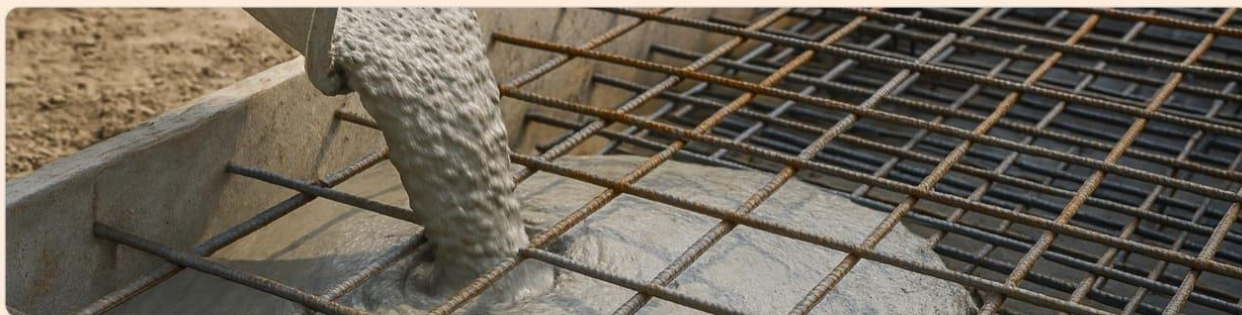
**ANEXO 3:** Ficha Técnica do Superplastificante

**ANEXO 4:** Relatório dos Resultados dos ensaios de feitos para os materiais e resistência do BAC

**ANEXO 5:** Relatório dos Resultados dos ensaios de feitos para os materiais e resistência do BC

**ANEXO 1- Relatório do inquérito feito aos profissionais da construção civil**

## ANEXO 1- Relatório do inquérito feito aos profissionais da construção civil

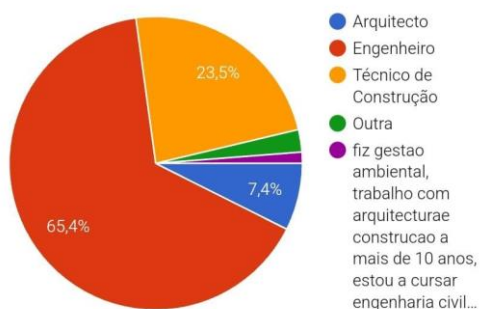


# Uso do Betão Auto-Compactável em Moçambique

81 respostas

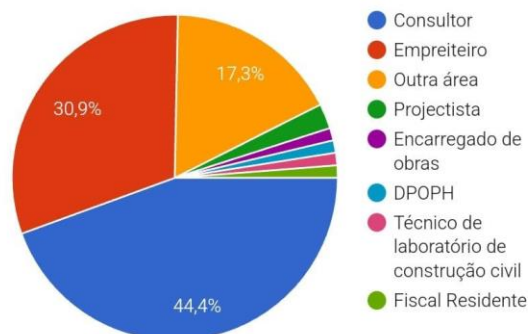
### 1. Qual é a sua profissão?

81 respostas



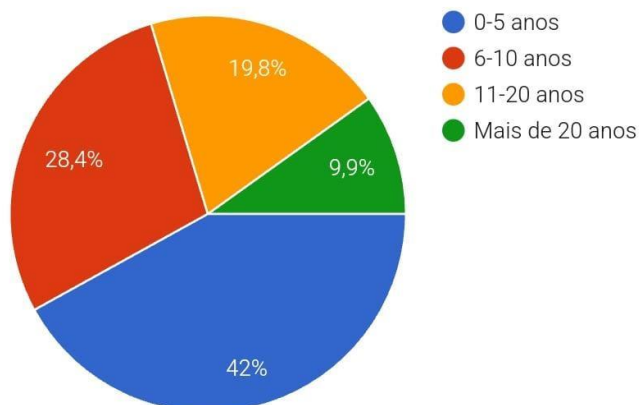
### 2. Qual é a sua área de actividade?

81 respostas



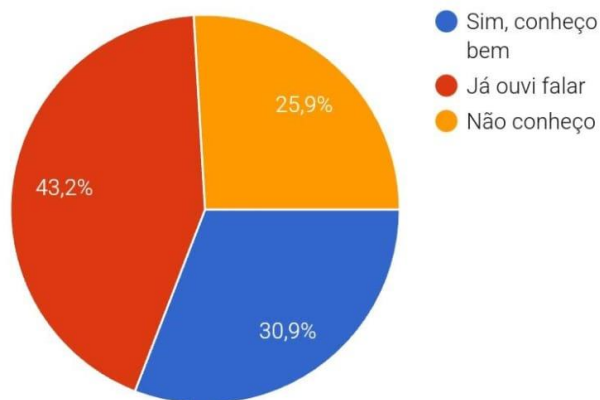
### 3. Há quantos anos trabalha na área da construção civil?

81 respostas



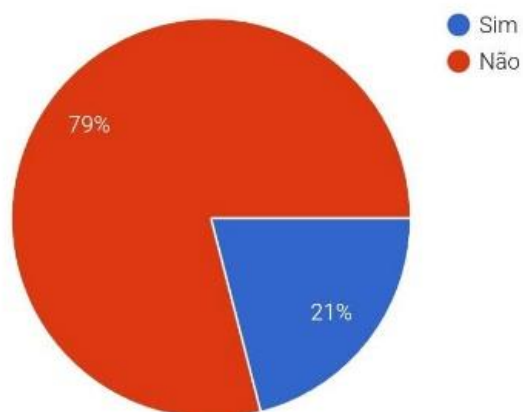
#### 4. Tem conhecimento sobre o Betão Auto-Compactável (BAC)?

81 respostas



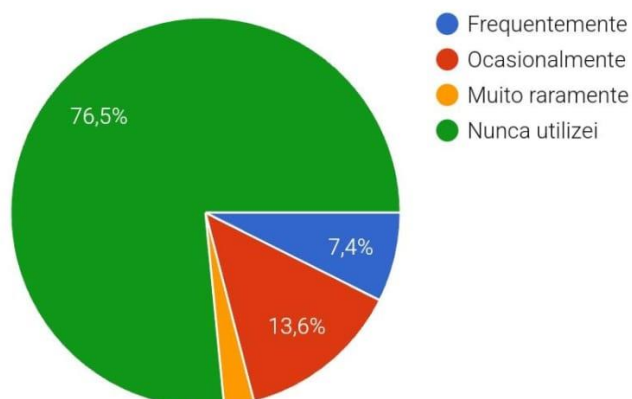
#### 5. Já usou o Betão Auto-Compactável em alguma obra ou projecto?

81 respostas



#### 6. Com que frequência utiliza o BAC nas suas obras ou projectos?

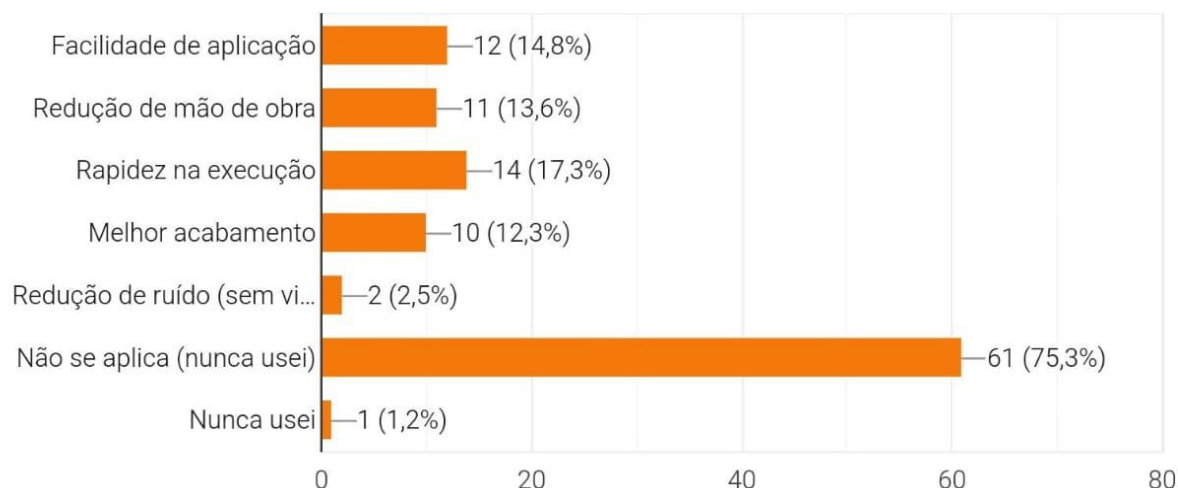
81 respostas



## 7. Quais foram os motivos para a escolha do BAC (caso tenha usado)?

*(Pode seleccionar mais de uma opção)*

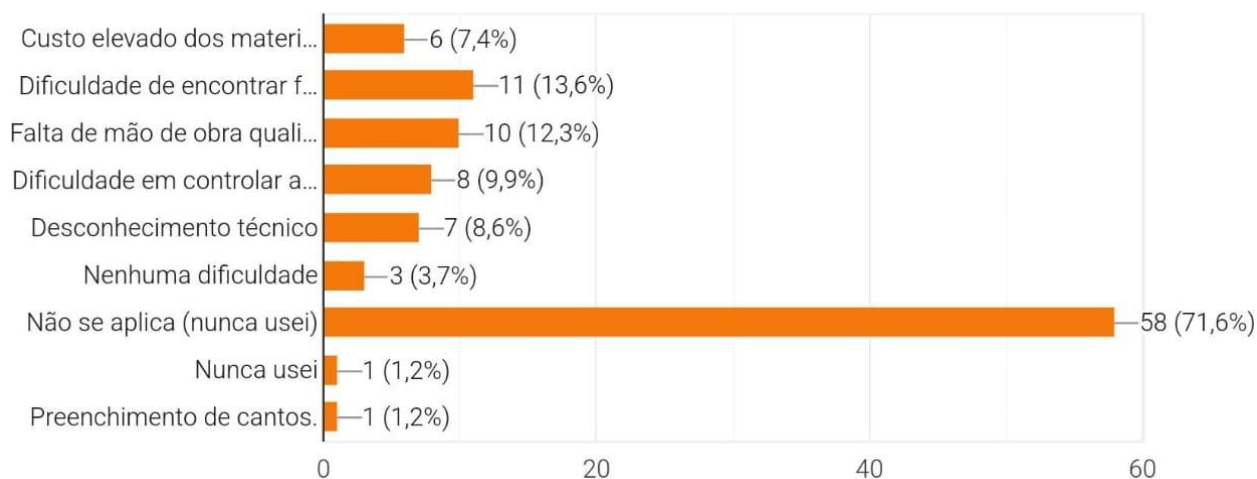
81 respostas



## 8. Quais dificuldades encontrou ao utilizar o BAC?

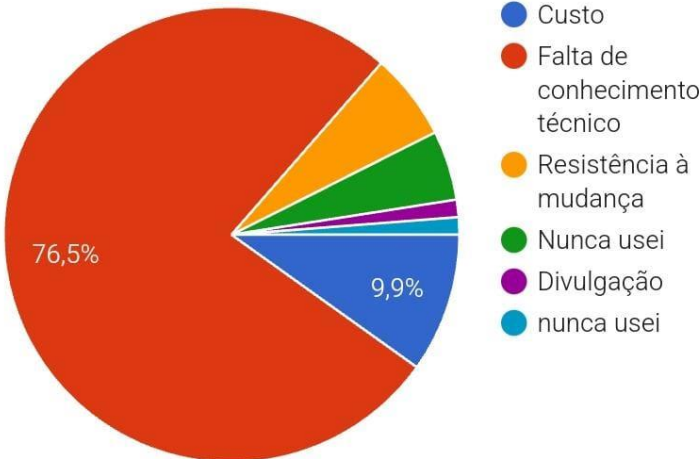
*(Pode seleccionar mais de uma opção)*

81 respostas



### 9. Qual o maior obstáculo para maior adoção do BAC em Moçambique?

81 respostas



## **ANEXO 2. Relatório do inquérito feito as Centrais de Betão**

## ANEXO 2. Relatório do inquérito feito as Centrais de Betão

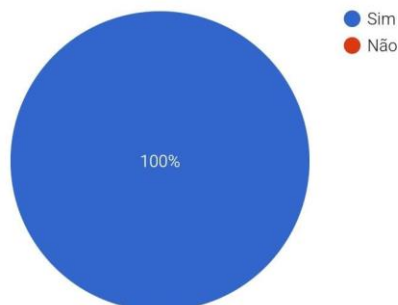


### Betão Auto-Compactável em Centrais de Betão (Moçambique)

**Objectivo:** Recolher informações sobre a produção, utilização e desafios do betão auto-compactável no país.

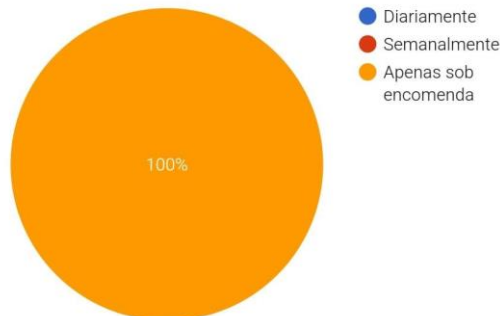
#### 1. A sua central produz betão auto-compactável?

5 respostas



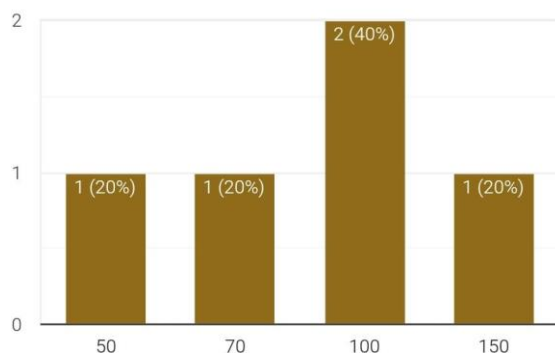
#### 2. Se sim, com que frequência é produzido?

5 respostas



#### 3.1. Volume médio do BAC produzido por mês (m³)

5 respostas



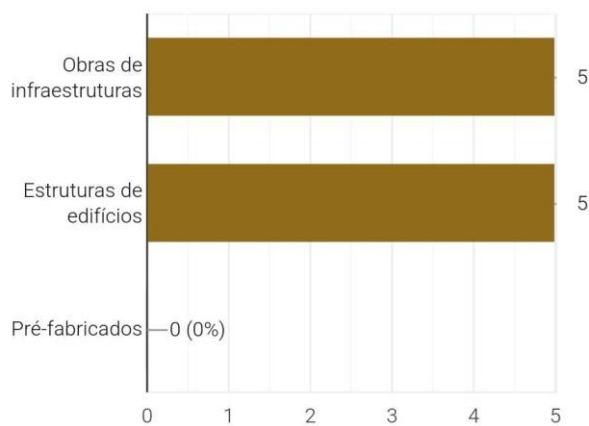
#### 3.2. Volume médio do betão convencional produzido por mês (m³)

5 respostas



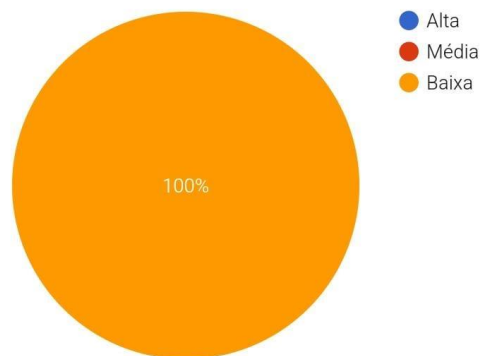
#### 4. Principais aplicações atendidas

5 respostas



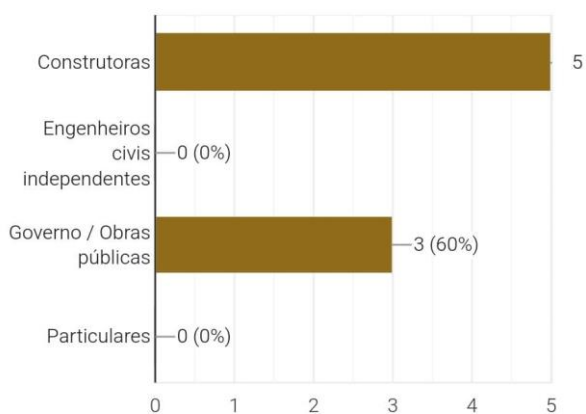
#### 5. Existe procura significativa por parte dos clientes?

5 respostas



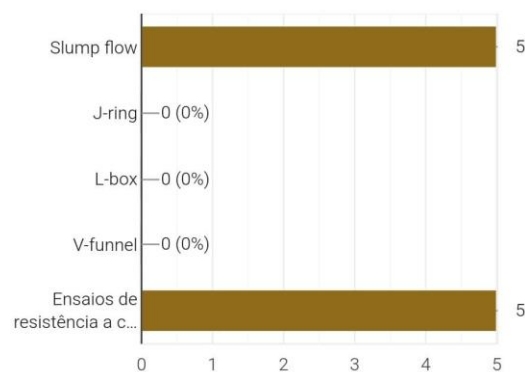
#### 6. Principais tipos de clientes:

5 respostas



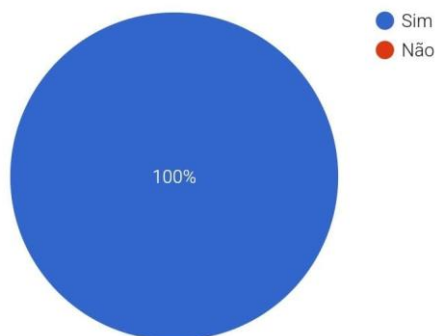
#### 7. Quais ensaios normalmente realiza para o BAC?

5 respostas



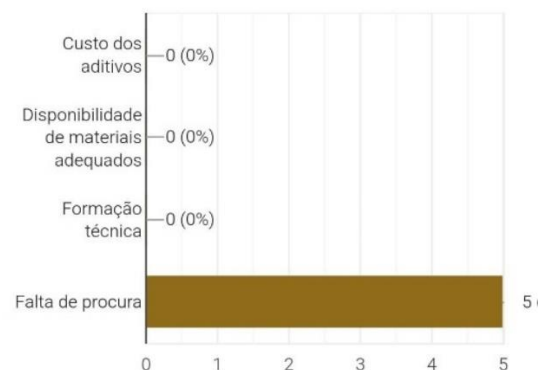
#### 8. Dispõe de laboratório próprio para ensaios?

5 respostas



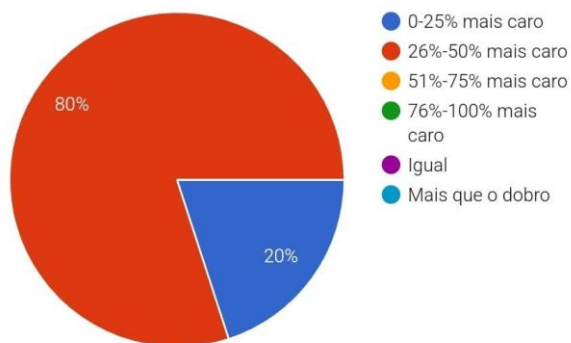
#### 9. Quais são as principais dificuldades na produção do BAC?

5 respostas



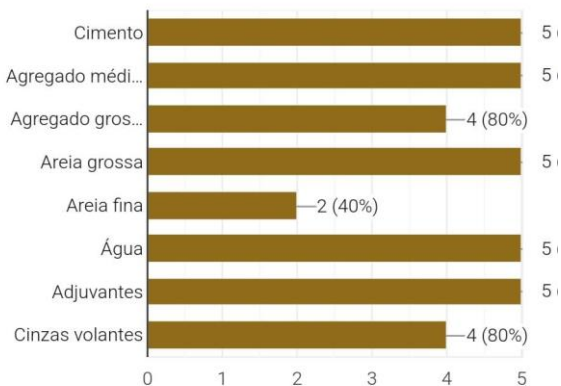
**10. Em média, o custo do BAC em relação ao betão convencional é:**

5 respostas



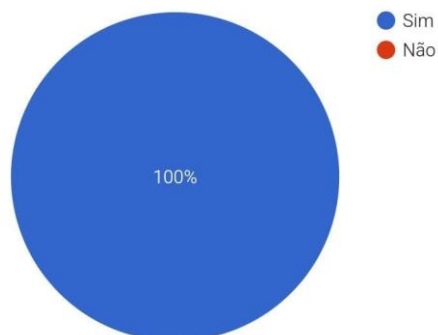
**11. Quais são os principais constituintes?**

5 respostas



**12. Considera que a utilização do BAC em Moçambique vai aumentar nos próximos 5 anos?**

5 respostas



## **ANEXO 3-Ficha Técnica do Superplastificante**

## ANEXO 3-Ficha Técnica do Superplastificante



### FICHA DE DADOS DO PRODUTO

# Sika ViscoFlow®-1050

## SUPERPLASTIFICANTE DE ÚLTIMA GERAÇÃO PARA BETÃO

### DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Sika ViscoFlow®-1050 é um superplastificante para betão e argamassa que permite que o betão obtenha uma manutenção da consistência bastante alargada.

### UTILIZAÇÕES

Sika ViscoFlow®-1050 permite obter uma muito forte plastificação e uma longa manutenção da consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas, permitindo a fabricação de betões plásticos a fluidos, betões com diferentes razões A/C, betão bombado para longas distâncias, com agregados rolados ou britados.

### CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

Sika ViscoFlow®-1050 funciona como superplastificante/ forte redutor de água nos seguintes betões:

- Betão pronto
- Betão autocompactável
- Betão com longo tempo de trabalhabilidade

### CERTIFICADOS / NORMAS

Adjuvante para betão de acordo com a EN 934-2.

### DADOS DO PRODUTO

Base química	Solução aquosa de policarboxilatos modificados
Fornecimento	1000 L
Tempo de armazenamento	12 meses após a data de fabrico
Armazenagem e conservação	Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa, a temperaturas entre +5 °C e + 35 °C.
Aspecto / Cor	Líquido acastanhado
Massa volúmica	1,06 ± 0,02 kg/l (a +20 °C)
Valor do pH	4,5 ± 1,0

### DADOS TÉCNICOS

Desenho da mistura de betão	Sika ViscoFlow®-1050 permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a colocação e a cura do betão.
-----------------------------	--

FICHA DE DADOS DO PRODUTO  
Sika ViscoFlow®-1050  
Julho 2024, VERSÃO 01.04  
021301011000004253

## INFORMAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO

<b>Dosagem recomendada</b>	Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se a utilização dentro da seguinte gama: 0,1% a 1,5% do peso do cimento.
----------------------------	---

### VALOR BASE

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Resultados obtidos noutras condições podem divergir dos apresentados, devido a circunstâncias que não podemos controlar.

### OBSERVAÇÕES

- Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima de Sika ViscoFlow®-1050 e sempre que se altere os componentes do betão ou a própria composição.
- Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se.

Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.

### ECOLOGIA, SAÚDE E SEGURANÇA

### INSTRUÇÕES DE APLICAÇÃO

#### DISPENSADOR

Preparar o betão com cerca de 2/3 da água prevista e adicionar o adjuvante misturando aprox. 1 minuto/m<sup>3</sup>; adicionar água até à consistência desejada – aproveitamento máximo do adjuvante e controlo da razão água/ligante. Se o processo não for viável adicionar o produto à água de amassadura determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea. Não adicionar o adjuvante aos componentes secos (redução de eficácia). No caso de redosagem em obra: diluição ligeira do adjuvante para reduzir a sua viscosidade e facilitar a incorporação.

“Puxar” o betão acima e adicionar lentamente o adjuvante, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneizar. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.

### RESTRIÇÕES LOCAIS

Por favor, ter em atenção que o desempenho deste produto poderá variar ligeiramente de país para país, em função dos parâmetros regulamentares específicos de cada local. Por favor, consultar a Ficha de Produto para a descrição completa dos campos de aplicação.

### NOTA LEGAL

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que solicitada.

SIKA MOÇAMBIQUE, LDA  
Boane, Matola Rio, Parcela 3441  
MOÇAMBIQUE  
Phone : + 25 821 730 367  
[HTTPS://moz.sika.com/](https://moz.sika.com/)

FICHA DE DADOS DO PRODUTO  
Sika ViscoFlow®-1050  
Julho 2024, VERSÃO 01.04  
021301011000004253

SikaViscoFlow-1050-pt-MZ-(07-2024)-1-4.pdf



**ANEXO 4: Relatório dos Resultados dos ensaios de feitos para os materiais e  
resistência do BAC**

**ANEXO 4.1. Relatório da Análise Granulométrica dos Agregados**



Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21289  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449  
**Customer:** Dummy Customer

**MATERIAL FINER THAN 75-µm SIEVE and SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATES**

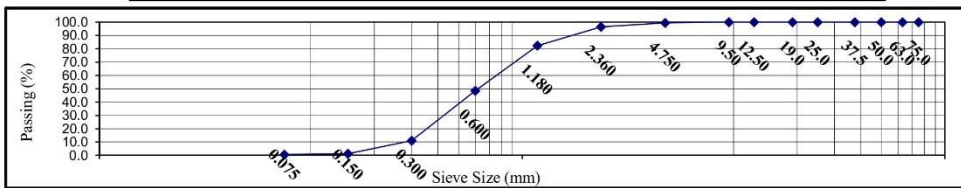
(ASTM C136)

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** FA (Fine Agg)  
**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 17-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sand-Pit  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Tested Specimen Weight [g]		521.3			
Sieve No.	Sieve Opening	Retained Weight [g]	Retained weight (%)	Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)
3	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2	63.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2	50.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2	37.5 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1	25.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4	19.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2	12.5 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
0.375	9.5 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.75 mm	2.8	0.5	0.5	99.5
No. 8	2.36 mm	15.6	3.0	3.5	96.5
No. 16	1.18 mm	73.5	14.1	17.6	82.4
No. 30	0.6 mm	177.2	34.0	51.6	48.4
No. 50	0.3 mm	194.8	37.4	89.0	11.0
No. 100	0.15 mm	51.3	9.8	98.8	1.2
No. 200	0.075 mm	3.4	0.7	99.5	0.5
	Pan	2.8	0.5	100.0	0.0



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21286  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer:** Dummy Customer

**MATERIAL FINER THAN 75-µm SIEVE and SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATES**

(ASTM C136)

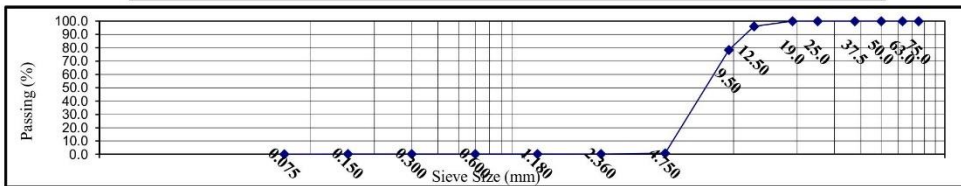
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** MA (Medium Agg) 12.5mm

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 17-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sotck-Pile  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Tested Specimen Weight [g]		2108.2			
Sieve No.	Sieve Opening	Retained Weight [g]	Retained weight (%)	Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)
3	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2	63.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2	50.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2	37.5 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1	25.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4	19.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2	12.5 mm	82.9	3.9	3.9	96.1
0.375	9.5 mm	372.8	17.7	21.6	78.4
No. 4	4.75 mm	1636.3	77.6	99.2	0.8
No. 8	2.36 mm	11.5	0.5	99.8	0.2
No. 16	1.18 mm	0.2	0.0	99.8	0.2
No. 30	0.6 mm	0.2	0.0	99.8	0.2
No. 50	0.3 mm	0.1	0.0	99.8	0.2
No. 100	0.15 mm	0.5	0.0	99.8	0.2
No. 200	0.075 mm	1.7	0.1	99.9	0.1
	Pan	2.0	0.1	100.0	0.0



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21284  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer:** Dummy Customer

**MATERIAL FINER THAN 75-µm SIEVE and SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATES**

(ASTM C136)

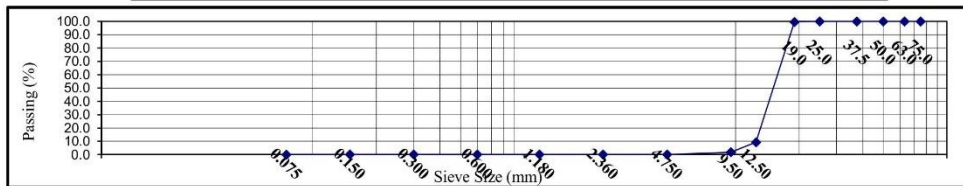
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** CA (Coarse Agg) 19.0mm

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 17-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sotck-Pile  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Tested Specimen Weight [g]		5427.8			
Sieve No.	Sieve Opening	Retained Weight [g]	Retained weight (%)	Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)
3	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2	63.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2	50.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2	37.5 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1	25.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4	19.0 mm	21.5	0.4	0.4	99.6
1/2	12.5 mm	4903.4	90.3	90.7	9.3
0.375	9.5 mm	404.8	7.5	98.2	1.8
No. 4	4.75 mm	93.1	1.7	99.9	0.1
No. 8	2.36 mm	1.7	0.0	99.9	0.1
No. 16	1.18 mm	0.3	0.0	99.9	0.1
No. 30	0.6 mm	0.3	0.0	100.0	0.0
No. 50	0.3 mm	0.4	0.0	100.0	0.0
No. 100	0.15 mm	0.5	0.0	100.0	0.0
No. 200	0.075 mm	1.3	0.0	100.0	0.0
	Pan	0.5	0.0	100.0	0.0



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.



## ANEXO 4.2. Relatório da Massa Específica e Absorção de Agregados



Date : 23-Sep-25  
Serial No. : 21287  
Page 1 of 1

### TEST REPORT

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

### DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE (ASTM C127)

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** MA (Medium Agg) 12.5mm

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

#### Sampling Details

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sotck-Pile  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

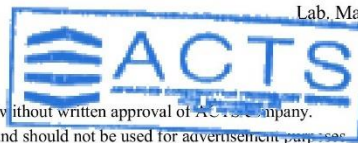
Nominal Max. Size of Aggregate [mm]	<b>12.5</b>
Weight of Aggregate SSD [g]	2189.9
Weight of Dry Aggregate [g]	2183.2
Weight of aggregate in Water [g]	1359.9
Bulk Specific Gravity	<b>2.63</b>
Bulk Specific Gravity (SSD)	<b>2.64</b>
Apparent Specific Gravity	<b>2.65</b>
Water Absorption [%]	<b>0.3</b>

**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician

**Approved by :** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

#### **Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21283  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA''D''  
**Phone :** 842604449  
**Customer :** Dummy Customer

**DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND  
 ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE  
 (ASTM C127)**

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** CA (Coarse Agg) 19.0mm  
**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sotek-Pile  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

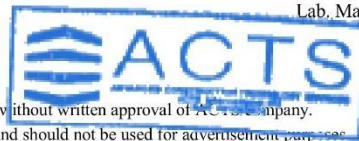
Nominal Max. Size of Aggregate [mm]	<b>19</b>
Weight of Aggregate SSD [g]	3127.4
Weight of Dry Aggregate [g]	3118.0
Weight of aggregate in Water [g]	1933.1
Bulk Specific Gravity	<b>2.61</b>
Bulk Specific Gravity (SSD)	<b>2.62</b>
Apparent Specific Gravity	<b>2.63</b>
Water Absorption [%]	<b>0.3</b>

**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by :** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21288  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449  
**Customer :** Dummy Customer

**DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND  
 ABSORPTION OF FINE AGGREGATE  
 (ASTM C128)**

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Sample Ref. :** FA (Fine Agg)  
**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sand-Pit  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

SSD Weight [g]	501.4
Pycnometer+ Aggregate+ Water [g]	971.8
Weight of Pycnometer + Water [g]	659.4
Weight of Dry Aggregate [g]	498.5
Bulk Specific Gravity	<b>2.64</b>
Bulk Specific Gravity (SSD)	<b>2.65</b>
Apparent Specific Gravity	<b>2.68</b>
Water Absorption [%]	<b>0.6</b>

**Reviewed by :** Calado Paulo Populane  
 Senior Technician

**Approved by :** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.



**ANEXO 4.3. Relatório da Baridade dos Agregados**



Date : 23-Sep-25  
Serial No. : 21285  
Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA, MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449  
**Customer :** Dummy Customer

**BULK DENSITY (UNIT WEIGHT) AND VOIDS IN AGGREGATE (ASTM C29)**

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 18-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**  
**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sotck-Pile  
**Standard Sampling Method :** ----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Sample Ref.	CA (Coarse Agg) 19.0mm	MA (Medium Agg) 12.5mm	-	-
Procedure Used	Method A—Rodding			
Bulk Density [Kg/m³]	<b>1660</b>	<b>1630</b>	-	-
Average Voids, %	-	-	-	-

**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**  
1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.  
2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.  
3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.



Date : 23-Sep-25  
Serial No. : 21290  
Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA, MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449  
**Customer :** Dummy Customer

**BULK DENSITY (UNIT WEIGHT) AND VOIDS IN AGGREGATE (ASTM C29)**

**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Aggregate  
**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 15-Aug-25  
**Sample Tested on :** 18-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**  
**Date of Sampling :** 13-Aug-25  
**Location of Sampling :** Sand-Pit  
**Standard Sampling Method :** ----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Sample Ref.	FA (Fine Agg)	-	-	-
Procedure Used	Method A—Rodding			
Bulk Density [Kg/m³]	<b>1550</b>	-	-	-
Average Voids, %	-	-	-	-

**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**  
1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.  
2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.  
3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.



**ANEXO 4.5. Relatório da Resistência à Compressão**



Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21291  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL No353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
 (ASTM C39)**

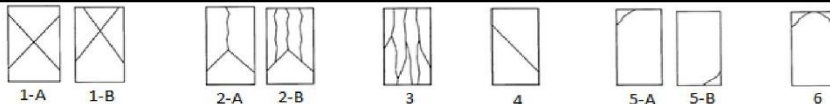
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 25-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 4 (1:4)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	A	B	----	----	----	----
Age (days)	3	3	----	----	----	----
Weight [g]	12780	12750	----	----	----	----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	----	----	----	----
Avg. Length [mm]	300	300	----	----	----	----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	----	----	----	----
Load [KN]	611.2	624.4	----	----	----	----
Strength [Mpa]	34.6	35.3	----	----	----	----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2410	2400	----	----	----	----
Type of Fracture	5-A	5-A	----	----	----	----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL N6353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

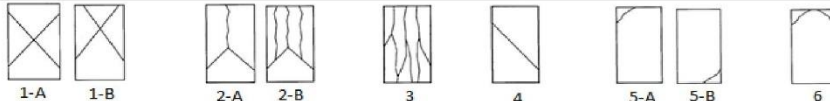
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 29-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 4 (1:4)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	C	D	----	----	----	----
Age (days)	7	7	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12550	12600	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	299	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	800.0	769.2	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	45.3	43.5	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2370	2390	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

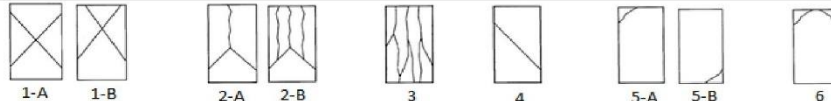
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Sep-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 4 (1:4)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	E	F	----	----	----	----
Age (days)	28	28	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12860	12840	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	301	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	909.5	925.4	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	51.5	52.4	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2420	2420	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

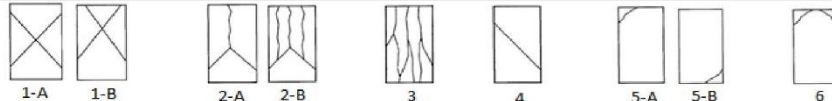
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 25-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 5 (1:5)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	A	B	----	----	----	----
Age (days)	3	3	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12690	12750	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	398.7	400.9	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	22.6	22.7	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2390	2400	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL N6353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

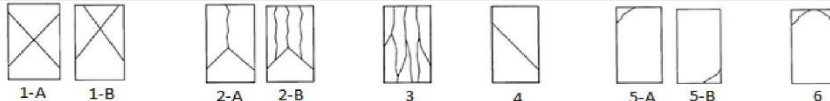
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 29-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 5 (1:5)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	C	D	----	----	----	----
Age (days)	7	7	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12620	12540	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	601.5	613.4	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	34.0	34.7	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2380	2370	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

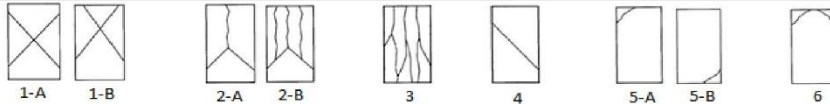
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Sep-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 5 (1:5)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	E	F	----	----	----	----
Age (days)	28	28	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12580	1260	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	760.9	763.4	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	43.1	43.2	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2370	240	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL N6353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

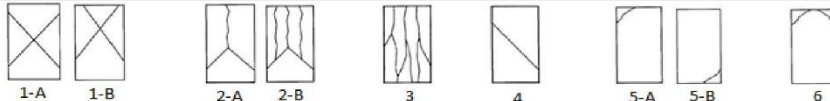
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 25-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 6 (1:6)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	A	B	----	----	----	----
Age (days)	3	3	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12310	12380	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	290.2	285.0	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	16.4	16.1	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2320	2330	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
AV. SAMORA MACHEL N°353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
(ASTM C39)**

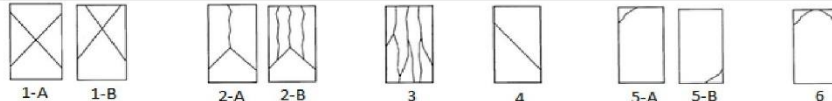
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 29-Aug-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 6 (1:6)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	C	D	----	----	----	----
Age (days)	7	7	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12440	12360	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	149.75	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17613	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	390.0	401.5	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	22.1	22.8	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2340	2340	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
Senior Technician



**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
Lab. Manager

**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.





Date : 23-Sep-25  
 Serial No. : 21299  
 Page 1 of 1

**TEST REPORT**

**Tested by :** ACTS INTERNATIONAL MZ, LDA  
 AV. SAMORA MACHEL Nº353/3 Q.1 CASA  
**Address :** No 494 MATOLA, CIDADE DA MATOLA,  
 MATOLA "D"  
**Phone :** 842604449

**Customer :** Dummy Customer

**COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS  
 (ASTM C39)**

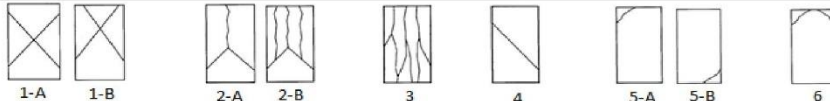
**Contractor :** Carlos Chiziane  
**Consultant :** Prof. Dr. Aurelio Sine  
**Project :** Dummy Project  
**Sample Type :** Concrete Cylinder  
**Concrete Grade :** 45 Mpa

**Work Order No. :** ACTS-2500251  
**Sample Received on :** 22-Aug-25  
**Sample Tested on :** 19-Sep-25  
**Sampled by :** Customer

**Sampling Details**

**Date of Sampling :** 22-Aug-25  
**Location of Sampling :** Mix 6 (1:6)  
**Standard Sampling Method :** -----  
**Environmental Conditions :** Not Specified  
**Any Deviation :** Not Specified

Cylinder Ref.	E	F	----	----	----	----
Age (days)	28	28	-----	-----	-----	-----
Weight [g]	12400	12400	-----	-----	-----	-----
Avg. Diameter [mm]	150.00	150.00	-----	-----	-----	-----
Avg. Length [mm]	300	300	-----	-----	-----	-----
Area [mm <sup>2</sup> ]	17672	17672	-----	-----	-----	-----
Load [KN]	556.6	563.1	-----	-----	-----	-----
Strength [Mpa]	31.5	31.9	-----	-----	-----	-----
Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	2340	2340	-----	-----	-----	-----
Type of Fracture	3	3	-----	-----	-----	-----



**Reviewed by :** Calado Paulo Populuane  
 Senior Technician

**Approved by:** Omran Abou Ghoush  
 Lab. Manager



**Remarks:**

- 1-This document shall not be reproduced except in full, without written approval of ACTS company.
- 2-The above results relate only to The sample(s) tested and should not be used for advertisement purposes.
- 3-Samples will be disposed after one week from The delivery date of report.



**ANEXO 5: Relatório dos Resultados dos ensaios de feitos para os materiais e  
resistência do BC**

### ANEXO 5.1. Composição do Betão Convencional de 32MPa

Consistência inicial de: 40 mm

Consistência final aos 60 minutos: -----

#### Entrada de dados:

Número de amostras: 3

Malha do primeiro peneiro que retém material: 25,4 mm

Abertura dos Peneiros		Brita média	Brita fina	Areia média
(Inch)	(mm)	Percentagem Passada (%)	Percentagem Passada (%)	Percentagem Passada (%)
(2")	50,80	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,10	100,0	100,0	100,0
(1")	25,40	98,16	100,0	100,0
3/4"	19,05	53,49	100,0	100,0
1/2"	12,70	5,10	99,90	100,0
3/8"	9,52	0,36	72,91	100,0
4	4,76	0,12	0,93	98,85
8	2,38	0,00	0,00	94,84
16	1,19	0,00	0,00	72,78
30	0,60	0,00	0,00	21,78
50	0,30	0,00	0,00	4,01
100	0,15	0,00	0,00	0,00
200	0,08	0,00	0,00	0,00
Modulo de Finura		7,46	6,26	3,08

Tabela A.5. 1. Granulometria dos agregados (% que passa nos peneiros)

Constituintes	Massas volúmicas (kg/m <sup>3</sup> )			Absorção de água (%)	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
	Materiais impermeáveis	Materiais saturados	Materiais secos		
Cimento	-	0,0	3100	-	1200
Areia média	-	0,0	2483	-	1671

Brita fina	2600	2480	2400	3,3	1314
Brita média	2540	2370	2270	4,7	1280

*Tabela A.5. 2. Massas volúmicas e absorção de água e baridade dos agregados no estado seco (kg/m<sup>3</sup>)*

Parâmetros da curva de Faury

A:30

B:1,5

R/D:1

**Resultados:**

**Cálculo da máxima dimensão do agregado do betão efectuado segundo Faury**

Areia média: 2,38mm

Brita fina: 12,7 mm

Brita média: 25,4 mm

**Valor de “a”: 36**

Módulo de finura da curva de referência de Faury: 4,53

Volume de vazios: 0,015 m<sup>3</sup>

Máxima dimensão do betão: 25,4 mm

Percentagem de componentes sólidos de betão: 74,2

Cimento: 13,6

Areia média: 40,2

Brita fina: 13,0

Brita média: 33,2

**Dosagem por metro cúbico:**

Cimento: 313,5 kg/m<sup>3</sup>

Areia média: 640,8 kg/m<sup>3</sup>

Brita fina: 231,6 Kg/m<sup>3</sup>

Brita média: 678,0 kg/m<sup>3</sup>

Água: 210,4 litros/m<sup>3</sup>

Massa volúmica do betão: **2074 kg/m<sup>3</sup>**

Relação água cimento (A/C): 0,67

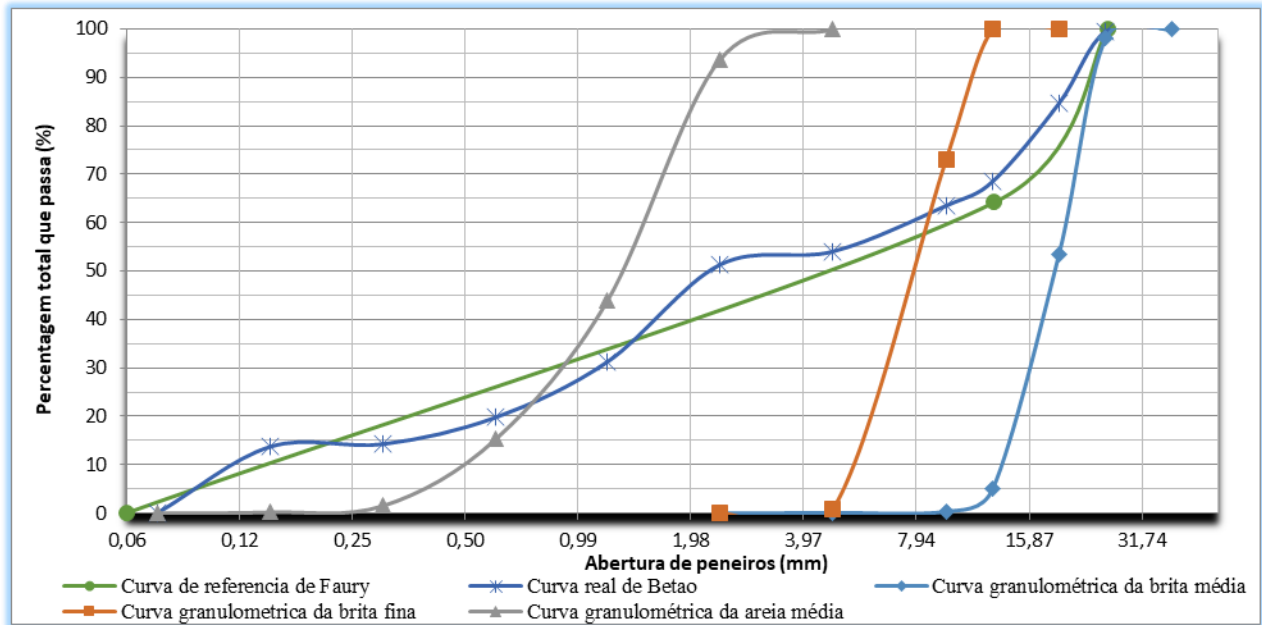


Figura A.5. 1. Curva Real do Betão e dos Agregados do BC de 32MPa

Abertura dos Peneiros		Brita média % Passada	33,2	Brita fina % Passada	13,0	Areia Percen. Passada	40,2	Cimento (%)	13,6	Curva real de betão (%)
(Inch)	(mm)									
1 1/2"	38,1	100,0	13,0	100	33,2	100,0	40,2	100,0	13,6	100,0
(1")	25,4	100,0	13,0	98,2	32,6	100,0	40,2	100,0	13,6	99
3/4"	19,05	100,0	13,0	53,5	17,8	100,0	40,2	100,0	13,6	85
1/2"	12,7	99,9	13,0	5,1	1,7	100,0	40,2	100,0	13,6	69
3/8"	9,52	72,9	9,5	0,4	0,1	100,0	40,2	100,0	13,6	63
4	4,76	0,9	0,1	0,1	0,0	100,0	40,2	100,0	13,6	54
8	2,38	0,0	0,0	0,0	0,0	93,7	37,7	100,0	13,6	51
16	1,19	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8	17,6	100,0	13,6	31
30	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3	6,2	100,0	13,6	20
50	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,6	100,0	13,6	14
100	0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	100,0	13,6	14
200	0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Módulo de finura da composição do betão

4,53

Tabela A.5. 3. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros

Datas		Idade	Massa	Slump	Secção	Carga de Rotura	Tensão de Rotura	Valor Médio
Fabrico	Ensaio	(Dias)	(Kg)	(mm)	(10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup> )	(10 <sup>3</sup> N)	(MPa)	(MPa)
15/07/25	22/07/25	7	7,760	40	22,50	594,3	26,41	26,29
			7,838		22,50	601,1	26,72	
			7,749		22,50	579,3	25,75	
15/07/25	12/08/25	28	7,783	40	22,50	723,2	32,14	32,65
			7,761		22,50	739,0	32,84	
			7,771		22,50	742,0	32,98	

Tabela A.5. 4. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 32MPa

## ANEXO 5.2. Composição do Betão Convencional de 43 MPa

Consistência inicial de: 95 mm

Consistência final aos 60 minutos: -----

### Entrada de dados:

Número de amostras: 3

Malha do primeiro peneiro que retém material: 25,4 mm

Abertura dos Peneiros		Brita média % Passada	Brita fina % Passada	Areia média % Passada
(Inch)	(mm)			
(2")	50,80	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,10	100,0	100,0	100,0
(1")	25,40	98,16	100,0	100,0
3/4"	19,05	53,49	100,0	100,0
1/2"	12,70	5,10	99,90	100,0
3/8"	9,52	0,36	72,91	100,0
4	4,76	0,12	0,93	98,85
8	2,38	0,00	0,00	94,84
16	1,19	0,00	0,00	72,78

30	0,60	0,00	0,00	21,78
50	0,30	0,00	0,00	4,01
100	0,15	0,00	0,00	0,00
200	0,08	0,00	0,00	0,00
Modulo de Finura		7,46	6,26	3,08

Tabela A.5. 5. Granulometria dos agregados (% que passa nos peneiros)

- Dosagem de cimento: 419,0 kg/m<sup>3</sup>

Constituintes	Massas volúmicas (kg/m <sup>3</sup> )			Absorção de água (%)	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
	Materiais impermeáveis	Materiais saturados	Materiais secos		
Cimento	-	-	3100	-	1200
Areia média	-	-	2483	-	1671
Brita fina	2600	2480	2400	3,3	1314
Brita média	2540	2370	2270	4,7	1280

Tabela A.5. 6. Massas volúmicas e absorção de água e baridade dos agregados no estado seco (kg/m<sup>3</sup>)

Parâmetros da curva de Faury

A:30

B:1,5

R/D:1

**Resultados:**

**Cálculo da máxima dimensão do agregado do betão efectuado segundo Faury**

Areia média: 2,38mm

Brita fina: 12,7 mm

Brita média: 25,4 mm

**Valor de “a”:** 36

Módulo de finura da curva de referência de Faury: 4,53

Volume de vazios: 0,015 m<sup>3</sup>

Máxima dimensão do betão: 25,4 mm

Percentagem de componentes sólidos de betão: 77,8

Cimento: 17,4

Areia média: 33,1

Brita fina: 15,3

Brita média: 34,2

**Dosagem por metro cúbico:**

Cimento: 419,0 kg/m<sup>3</sup>

Areia média: 669,9 kg/m<sup>3</sup>

Brita fina: 285,8 kg/m<sup>3</sup>

Brita média: 604,8 kg/m<sup>3</sup>

Água: 206,6 litros/m<sup>3</sup>

Massa volúmica do betão: **2186 kg/m<sup>3</sup>**

Relação água cimento (A/C): 0,5

**Curva Real do Betão e dos Agregados**

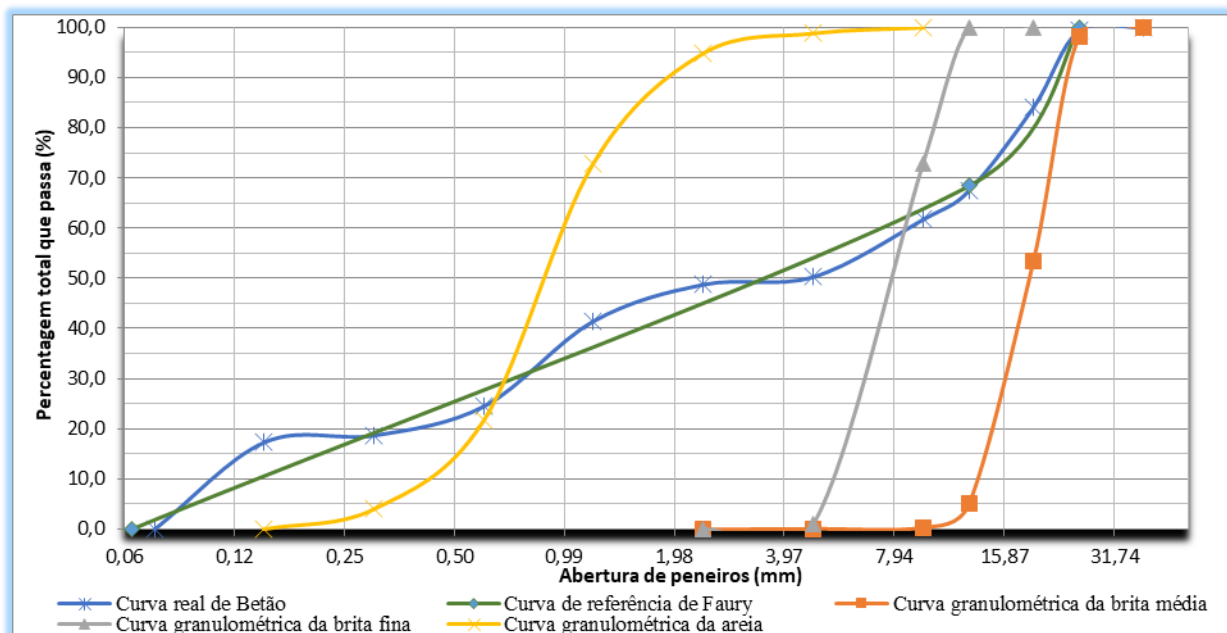


Figura A.5. 2. Curva Real do Betão e dos Agregados do BC de 43MPa

Abertura dos Peneiros		Brita média % Passada	34,2	Brita fina % Passada	15,3	Areia % Passada	33,1	Cimento (%)	17,4	Curva real de betão (%)
(Inch)	(mm)									
1 1/2"	38,1	100,0	34,2	100,0	15,3	100,0	33,1	100,0	17,4	100,0
(1")	25,4	98,2	33,6	100,0	15,3	100,0	33,1	100,0	17,4	99,3
3/4"	19,05	53,5	18,3	100,0	15,3	100,0	33,1	100,0	17,4	84,1
1/2"	12,7	5,1	1,7	99,9	15,3	100,0	33,1	100,0	17,4	67,5
3/8"	9,52	0,4	0,1	72,9	11,2	100,0	33,1	100,0	17,4	61,7
4	4,76	0,1	0,0	0,9	0,1	98,9	32,7	100,0	17,4	50,3
8	2,38	0,0	0,0	0,0	0,0	94,8	31,4	100,0	17,4	48,8
16	1,19	0,0	0,0	0,0	0,0	72,8	24,1	100,0	17,4	41,5
30	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	7,2	100,0	17,4	24,6
50	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	1,3	100,0	17,4	18,7
100	0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	17,4	17,4
200	0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Módulo de finura da composição do betão</b>										<b>4,53</b>

Tabela A.5. 7. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros

Datas		Idade	Massa	Slump	Secção	Carga de Rotura	Tensão de Rotura	Valor Médio
Fabrico	Ensaio	(Dias)	(Kg)	(mm)	(10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup> )	(10 <sup>3</sup> N)	(MPa)	(MPa)
02/07/25	09/07/25	7	7,773	95	22,50	842,8	37,46	38,12
			7,864		22,50	884,7	39,32	
			7,810		22,50	845,8	37,59	
02/07/25	30/07/25	28	7,909	95	22,50	1003,7	44,61	44,36
			7,818		22,50	984,6	43,76	
			7,915		22,50	1006,3	44,72	

*Tabela A.5. 8. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 43 MPa*

**ANEXO 5.3. Composição de um Betão Convencional de 48 MPa**

Consistência inicial de: 120 mm

Consistência final aos 60 minutos: -----

Entrada de dados

Número de amostras: 2

Malha do primeiro peneiro que retém material: 25,4 mm

Abertura dos Peneiros		Brita média % Passada	Areia média % Passada
(Inch)	(mm)		
(2")	50,80	100,0	100,0
1 1/2"	38,10	100,0	100,0
(1")	25,40	96,8	100,0
3/4"	19,05	59,9	100,0
1/2"	12,70	21,5	100,0
3/8"	9,52	4,83	100,0
4	4,76	0,63	99,64
8	2,38	0,00	95,97
16	1,19	0,00	73,26
30	0,60	0,00	29,15
50	0,30	0,00	9,55
100	0,15	0,00	1,29
200	0,08	0,00	0,00
Modulo de Finura		7,35	2,91

*Tabela A.5. 9. Granulometria dos agregados – Percentagem (%) que passa nos peneiros*

Parâmetros da curva de Faury

**i. Valores do A, B e R/D**

A:29

B:1,5

R/D:1

**ii. Valores do K e K'**

K: 0,40

K': 0,010

Cálculo da máxima dimensão do agregado do betão efectuado segundo Faury

**i. Máximo dimensão dos agregados:**

Areia média: 2,38mm

Brita média: 25,4 mm

**ii. Módulo de finura da curva de referência de Faury em função do valor de “a”**

Valor de a: 35

Módulo de finura da curva de referência de Faury: 4,57

**iii. Cálculo dos componentes do betão**

Volume de vazios: 0,015 m<sup>3</sup>

Máxima dimensão do betão: 25,4 mm

Percentagem de componentes sólidos de betão: 75,1

Cimento: 18,0

Areia média: 32,9

Brita média: 49,1

**iv. Dosagem por metro cúbico:**

Cimento: 418,9 kg/m<sup>3</sup>

Areia média: 650,4 kg/m<sup>3</sup>

Brita média: 870,4 kg/m<sup>3</sup>

Água: 234,5 litros/m<sup>3</sup>

Massa volúmica do betão: 2174 kg/m<sup>3</sup>

Relação água cimento (A/C): 0,56

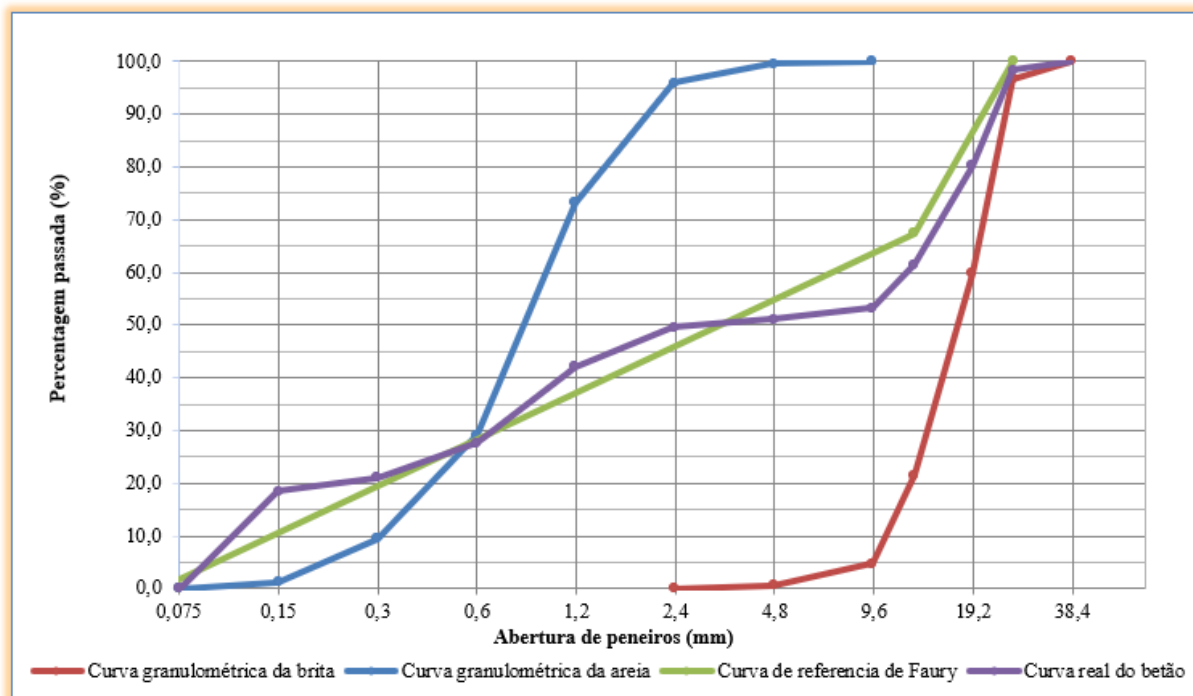


Figura A.5. 3. Curva Real do Betão e dos Agregados do BC de 48 MPa

Abertura dos Peneiros		Brita média	49,1	Areia	32,9	Cimento	18,0	Curva real de betão
(Inch)	(mm)	Percentagem Passada (%)	(%)	Percentagem Passada (%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2"	50	100,00	49,1	100,00	32,9	100	18,0	100
1 1/2"	38,1	100,00	49,1	100,00	32,9	100	18,0	100
1"	25,4	96,76	47,5	100,00	32,9	100	18,0	98
3/4"	19,05	59,86	29,4	100,00	32,9	100	18,0	80
1/2"	12,7	21,52	10,6	100,00	32,9	100	18,0	61
3/8"	9,52	4,83	2,4	100,00	32,9	100	18,0	53
4	4,76	0,63	0,3	99,64	32,8	100	18,0	51
8	2,38	0,00	0,0	95,97	31,6	100	18,0	50
16	1,19	0,00	0,0	73,26	24,1	100	18,0	42
30	0,6	0,00	0,0	29,15	9,6	100	18,0	28
50	0,3	0,00	0,0	9,55	3,1	100	18,0	21
100	0,15	0,00	0,0	1,29	0,4	100	18,0	18
200	0,075	0,00	0,0	0,00	0,0	100	0,0	0
<i>Módulo de finura da composição do betão</i>								4,57

Tabela A.5. 10. Granulometria da mistura – Percentagem (%) que passa nos peneiros

Datas		Idade	Massa	Slump	Secção	Carga de Rotura	Tensão de Rotura	Valor Médio
Fabrico	Ensaio	(Dias)	(Kg)	(mm)	(10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup> )	(10 <sup>3</sup> N)	(MPa)	(MPa)
15/07/25	22/07/25	7	7,757	120	22,50	709,9	31,6	32,5
			7,906		22,50	732,5	32,6	
			7,931		22,50	751,7	33,4	
15/07/25	12/08/25	28	7,871	120	22,50	1107,1	49,2	47,8
			7,832		22,50	1081,1	48,0	
			8,012		22,50	1039,9	46,2	

Tabela A.5. 11. Resultados dos ensaios de resistência à compressão do BC de 48 MPa