

ESTUDO DO DESEMPENHO DE CALDAS DE INJEÇÃO. INFLUÊNCIA DO PLASTIFICANTE.

Isabele Catori Brendler

Relatório Final de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Bragança, março de 2020

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE CALDAS DE INJEÇÃO.
INFLUÊNCIA DO PLASTIFICANTE.**

Isabele Catori Brendler

Relatório Final de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção
No âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientadora:

Professora Doutora Eduarda Cristina Pires Luso

Coorientador:

Professor Doutor Arthur Medeiros

Este Trabalho de Dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Bragança, março de 2020

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence os obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Politécnico de Bragança, que me recebeu tão bem neste período e me deu a oportunidade de desenvolver este trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por me proporcionar esta dupla-diplomação, universidade da qual tenho muito orgulho em fazer parte.

À Professora Eduarda Luso, que me orientou nesta importante etapa e sempre esteve disponível quando necessário. Obrigada por ser uma excelente profissional e contribuir com meu desenvolvimento profissional.

Ao Professor Arthur Medeiros, que me acompanha desde o primeiro ano desta jornada acadêmica e sempre demonstrou seu apoio e interesse pelo trabalho. Obrigada pela amizade que criamos.

À equipe técnica dos Laboratórios de Estruturas e Resistências dos Materiais e de Materiais de construção: João Pires, Octávio Pereira, Luísa Barreira e Hermínia Morais, por todo o suporte necessário durante as atividades laboratoriais e pelas conversas agradáveis.

Aos meus pais, Nevio e Enezir. Sem vocês eu não seria nem metade do que sou hoje. Obrigada por toda a educação e tempo dedicados a mim, por todos os ensinamentos me passados durante esta vida e pelo apoio e amor que recebo de vocês sempre. Não tenho como descrever o amor que sinto por vocês.

Aos meus irmãos, Bruno e Lucian, por serem meus exemplos. Agradeço por sempre me motivarem a correr atrás dos meus sonhos e atingir meus objetivos. Também não consigo descrever o amor que sinto por vocês.

Ao meu namorado Henrique, que se manteve presente durante grande parte do desenvolvimento deste trabalho, me apoiando e auxiliando em todas as situações. Sou muito grata ao seu amor e sua companhia nessa fase tão importante.

Aos meus amigos: Lauren Obrzut, Rafael Spréa, Victoria Franco, Ana Royer, Natália Zago e Mariana Corrêa, que se tornaram minha família do outro lado do oceano, levarei vocês sempre comigo.

RESUMO

Uma das principais técnicas utilizadas para o reforço de alvenarias de pedra é a injeção de caldas fluidas no interior destas estruturas, preenchendo toda a rede de vazios, e assim, reestabelecendo a consolidação da estrutura. Há inúmeras possibilidades de composição de caldas, utilizando cal, cimento e pozolanas, por exemplo, ou ainda utilizando caldas comerciais disponíveis no mercado. Ressalta-se a importância de conhecer todas as características da calda, uma vez que esta deve ser compatível com o material da alvenaria a ser reabilitada, evitando o surgimento de novas patologias.

No caso particular de utilização de caldas elaboradas “*in-situ*” e formuladas previamente em laboratório, a adição de um aditivo plastificante é inevitável e pode gerar uma composição com um bom comportamento. Neste estudo, se utilizou uma composição base encontrada na literatura, composta por cal hidráulica e cimento Portland branco e que demonstrou bom comportamento com a adição de um determinado plastificante. Os plastificantes são aditivos utilizados para aumentar a fluidez da calda sem aumentar a adição de água. Há plastificantes com diferentes bases químicas, como: éteres policarboxílicos, este mais comum, naftaleno, melamina, lignossulfonato, entre outros. Sabendo disso, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento da calda base alternando apenas o tipo de plastificante, sendo dois da primeira geração, um da segunda geração e três da terceira geração, resultando em seis caldas diferentes.

Em laboratório, foram testadas as características reológicas, físicas e mecânicas das seis caldas bem como suas interações com o granito, rocha bastante comum em edificações antigas portuguesas. Os testes aplicados neste trabalho incluem a verificação do tempo de escoamento em Cone de Marsh, ensaios de resistência à flexão, compressão e tração, além de injeções em cilindros preenchidos por granito. Os resultados demonstram a superioridade do policarboxilato durante o ensaio de fluidez, injetabilidade e resistência à flexão, contudo, esta superioridade não fica nos resultados de resistência à compressão, aderência ao suporte de granito e resistência à compressão do cilindro composto por calda e granito.

Palavras-chave: caldas de injeção, plastificante, cal hidráulica, granito, alvenaria de pedra.

ABSTRACT

One of the main techniques used for the reinforcement of stone masonry is grout injection, filling the entire void network, and thus reestablishing the consolidation of the structure. There are numerous possibilities for composing grouts, using lime, cement and pozzolans, for example, or even using commercial grouts available on the market. The importance of knowing all the characteristics of the grouts is emphasized, since the grout must be compatible with the material of the masonry to be rehabilitated, avoiding the appearance of new pathologies.

In case of using mixtures prepared “*in-situ*” and previously formulated in the laboratory, the addition of a plasticizer additive is inevitable and can generate a composition with good behavior. In this study, a base composition found in the literature was used, composed of hydraulic lime and white Portland cement, which demonstrated good behavior with the addition of a certain plasticizer. Plasticizers are additives used to increase the flowability of the grout without more addition of water. The plasticizers have different chemical bases, like: polycarboxylic ethers, the most common, naphthalene, melamine, lignosulfonate, among others. Knowing this, the present study aims to analyze the behavior of the base grout, alternating only the type of plasticizer, being two of the first generation, one of the second generation and three of the third generation, which resulted in six different compositions.

In the experimental program, rheological, physical and mechanical characteristics of the six grouts were tested and compared, as well as their interactions with granite, a very common rock in ancient Portuguese buildings. The tests include the verification of the flow time in Marsh's Cone, mechanical characterization and injections in cylinders filled with granite. The results demonstrate the superiority of the polycarboxylate during the flow test, injectability test and flexural strength, however, this superiority is not evident in compressive strength, grip on granite support and compressive strength of grout and granite cylinder.

Palavras-chave: injection grouts, plasticizer, hydraulic lime, granite, stone masonry.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificativa	3
1.4. Conteúdo e estrutura da tese	3
2. ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE CALDAS DE INJEÇÃO	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Injeção de caldas fluidas como técnica de reforço e consolidação	7
2.3. Propriedades físicas e mecânicas de uma calda de injeção	10
2.3.1. Injetabilidade	11
2.3.2. Fluidez.....	12
2.3.3. Estabilidade.....	12
2.3.4. Tempo de pega	13
2.3.5. Resistências mecânicas	13
2.3.6. Variação de volume.....	14
2.3.7. Aderência	14
2.4. Composição das caldas para injeção de construções antigas	15
2.4.1. Cal hidráulica.....	16
2.4.2. Cimento Portland Branco	18
2.4.3. Aditivos químicos.....	19

3. ADITIVOS REDUTORES DE ÁGUA	21
3.1. Histórico.....	21
3.2. Gerações de aditivos redutores de água	21
3.2.1. Aditivos de 1ª geração (plastificantes).....	22
3.2.2. Aditivos de 2ª geração (superplastificantes).....	23
3.2.3. Aditivos de 3ª geração (hiperplastificantes).....	24
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	26
4.1. Composição das caldas.....	26
4.2. Execução das caldas.....	28
4.3. Caracterização das caldas – ensaios em estado fresco.....	29
4.3.1. Determinação da fluidez.....	29
4.3.2. Determinação da exsudação e da expansão	30
4.3.3. Determinação da injetabilidade	32
4.3.4. Execução dos corpos de prova prismáticos	33
4.3.5. Execução dos corpos de prova para ensaio de aderência	34
4.4. Caracterização das caldas - ensaios em estado endurecido.....	36
4.4.1. Determinação da resistência mecânica à flexão	36
4.4.2. Determinação da resistência mecânica à compressão	37
4.4.3. Determinação da aderência em suporte pétreo	39
4.4.4. Caracterização dos cilindros injetados	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1. Ensaio em estado fresco	45

5.1.1.	Fluidez.....	45
5.1.2.	Exsudação e expansão	47
5.1.3.	Injetabilidade	48
5.2.	Ensaio em estado endurecido	50
5.2.1.	Massa específica.....	50
5.2.2.	Resistência mecânica à flexão	50
5.2.3.	Resistência mecânica à compressão	53
5.2.4.	Aderência em suporte pétreo	56
5.2.5.	Caracterização dos cilindros injetados	59
5.3.	Resumo dos resultados	64
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	65
6.1.	Considerações finais	65
6.2.	Trabalhos futuros.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
	ANEXO A – Ficha técnica do aditivo ViscoCrete 3002 HE – Sika	73
	ANEXO B – Ficha técnica do aditivo Chronos VF 204 – MAPEI.....	76
	ANEXO C – Ficha técnica do aditivo SikaPlast 912 – Sika	79
	ANEXO D – Ficha técnica do aditivo Centrament N3 – MC-Bauchemie ..	82
	ANEXO E – Ficha técnica do aditivo Muraplast FK 48 – MC-Bauchemie	84
	ANEXO F – Ficha técnica do aditivo Mapeplast R10 – MAPEI	86
	ANEXO G – Caracterização do granito.....	89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Principais requisitos das caldas de injeção. Adaptado de [13].	11
Tabela 2: Exemplos de composições na literatura.	16
Tabela 3: Resumo dos resultados obtidos por Klosowski [29].	26
Tabela 4: Bases químicas e marcas dos aditivos utilizados.....	27
Tabela 5: Valores médios e desvios-padrão para o escoamento de 1 litro de calda em segundos.....	45
Tabela 6: Índices de expansão e exsudação de cada calda.	48
Tabela 7: Resultados médios obtidos para o tempo de injeção dos cilindros em segundos.....	48
Tabela 8: Volume, peso e massa específica médios dos corpos de prova prismáticos.	50
Tabela 9: Valores médios e desvios-padrão de tensão de ruptura à flexão.....	51
Tabela 10: Valores médios e desvios-padrão de tensão de ruptura à compressão.	53
Tabela 11: Valores médios de tensão de ruptura à tração, desvios-padrão e número de amostras ensaiadas.	56
Tabela 12: Massas, dimensões e massas específicas dos cilindros de injeção.	59
Tabela 13: Valores médios de massas e volumes.	60
Tabela 14: Índices de vazios e porcentagem de calda injetada.	61
Tabela 15: Valores médios e desvios-padrão para força e tensão de compressão nos corpos de prova com idade de 28 dias.	62
Tabela 16: Valores médios dos resultados obtidos durante a campanha experimental.....	64
Tabela 17: Granulometria da brita utilizada.....	89
Tabela 18: Resultados obtidos na caracterização do granito.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de alvenaria de pedra (a) Alvenaria de pedra aparelhada rústica (b) Parede de cantaria.	6
Figura 2: Exemplo de injeção de paredes de alvenaria [11].	8
Figura 3: Representação esquemática do comportamento do cimento em água (a) sem a adição de um plastificante (b) com adição de um plastificante. Adaptado de [47].	23
Figura 4: Ilustração esquemática dos mecanismos de ação dos (a) plastificantes e superplastificantes e (b) hiperplastificantes. Adaptado de [47].	25
Figura 5: (a) Misturador de argamassas elétrico; (b) Peneira utilizada para remoção de possível material empelotado.	29
Figura 6: (a) Dimensões do Cone de Marsh utilizado em laboratório. Fonte: Klosowski [29] (b) Cone de Marsh utilizado.	30
Figura 7: (a) Molde em acrílico; (b) Molde preenchido com granito; (c) Panela de injeção utilizada no ensaio.	33
Figura 8: Corpos de prova desmoldados e referenciados.	34
Figura 9: Molde dos corpos de prova para ensaio de aderência.	35
Figura 10: Corpos de prova retirados da câmara úmida para realização de ensaio.	35
Figura 11: Dimensões do corpo de prova e posicionamento dos cilindros.	36
Figura 12: Corpo de prova posicionado no equipamento para realização do ensaio de resistência à flexão.	37
Figura 13: (a) Corpo de prova prismático sendo submetido ao ensaio de compressão. (b) Imagem aproximada.	38
Figura 14: Regularização da superfície superior do corpo de prova para ensaio de aderência.	39
Figura 15: (a) Cola bicomponente. (b) Aplicação da cola bicomponente nos corpos de prova.	40
Figura 16: Exemplos de corpos de prova que sofreram pequenas desintegrações ao desmoldar nas idades de (a) 28 dias e (b) 90 dias.	40

Figura 17: (a) Corpo de prova submetido ao ensaio de aderência. (b) Imagem detalhada.....	41
Figura 18: Tipos de ruptura após o ensaio de pull-off. (a) sistema utilizado; (b) ruptura no substrato; (c) ruptura na interface substrato/calda; (d) ruptura na calda; (e) ruptura na interface pastilha/cola; (f) ruptura na interface cola/calda.	43
Figura 19: Corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio de compressão. (a) Corpo de prova no equipamento no início do ensaio (b) Interior do corpo de prova após ensaio.	44
Figura 20: Tempo médio para o escoamento de 1 litro de calda logo após a mistura.	46
Figura 21: Tempo médio para o escoamento de 1 litro de calda 30 minutos após a mistura.....	46
Figura 22: Ensaio de fluidez através do Cone de Marsh.....	47
Figura 23: Tempo total médio de injeção para cada calda.....	49
Figura 24: Ensaio de injetabilidade da calda 1P.....	49
Figura 25: Tensão média de ruptura à flexão nas idades de 28, 90 e 180 dias.	51
Figura 26: Corpo de prova submetido ao ensaio de resistência à flexão.	53
Figura 27: Tensão média de ruptura à compressão nas idades de 28, 90 e 180 dias.....	54
Figura 28: Corpos de prova rompidos por compressão uniaxial. (a) Corpo de prova da calda 4L; (b) Corpo de prova da calda 3.	55
Figura 29: Valores médios de tensão de ruptura à tração aos 28 e 90 dias. ...	57
Figura 30: Exemplos de corpos de prova ensaiados aos 28 dias. (a) Corpo de prova da Calda 2 com falha na interface substrato/calda. (b) Corpo de prova da Calda 4 com falha mista, apresentando pequenos fragmentos de granito aderidos à calda.	58
Figura 31: Corpo de prova da calda 6 ensaiado aos 90 dias.	58
Figura 32: Cilindros resultantes do ensaio de injetabilidade.	60

Figura 33: Tensões médias de compressão em cilindros compostos por calda + granito na idade de 28 dias.	62
Figura 34: Tensão média de ruptura à compressão e tempo de enchimento do cilindro durante a injeção.	63
Figura 35: Corpo de prova cilíndrico após ensaio de resistência à compressão uniaxial.	63
Figura 36: Curva granulométrica da brita utilizada.	89

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
ASTM	American Society for Testing and Materials
atm	Atmosfera
BT	Bentonite
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
CEM	Cimento
CL	Cal hidratada
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
d.C.	Depois de Cristo
EN	Norma Europeia
F _{cf}	Tensão média de ruptura
g	Grama
HL	Cal hidráulica
ICOMOS	Conselho Nacional dos Monumentos e Sítios
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
kg	Quilograma
Mg(OH) ₂	Hidróxido de magnésio
MgO	Óxido de magnésio
min	Minutos
MK	Metacaulino
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
MPa	Megapascal
N	Newton

N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
N/s	Newton por segundo
NaHSO ₃	Bissulfito de sódio
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
NP	Norma Portuguesa
Psi	Libra-força por polegada quadrada
PZ	Pozolana
RPM	Rotação por minuto
S	Desvio padrão
s	Segundos
SF	Sílica de fumo
SiO ₂	Dióxido de silício
SP	Plastificante
W	Watt
W/S	Relação água/aglomerante

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto

Por toda a Europa, é possível notar a grande existência de construções antigas com sua estrutura de alvenaria de pedras (como pontes, edifícios, igrejas, muralhas etc.). Estas estruturas, independentemente de seu tamanho ou reconhecimento, sem dúvidas detêm um grande valor patrimonial, cultural e arquitetônico, pois representam toda a história e evolução de uma sociedade. Atualmente esta visão da construção como patrimônio cultural tem sido uma grande motivação para o desenvolvimento de diversas técnicas de conservação, restauro e reabilitação destas estruturas.

Uma das principais técnicas de consolidação e reforço de alvenarias é a injeção de caldas fluidas. Seu objetivo é consolidar partes do interior de uma estrutura que eram interligadas anteriormente, a fim de reestabelecer suas propriedades mecânicas, como resistência à flexão, à compressão e cisalhamento. Uma de suas vantagens é o fato de não afetar o aspecto visual da estrutura a ser consolidada, contudo, este processo é irreversível, tornando-se necessário realizar um estudo prévio da estrutura, de forma a determinar qual o melhor material a ser empregado.

Sabe-se que as características da calda em estado fresco são tão importantes quanto as características em estado endurecido, devendo apresentar uma boa fluidez e trabalhabilidade.

As caldas fluidas são compostas basicamente por água, aglomerantes e aditivos. A cal é o aglomerante mais apropriado para as caldas, uma vez que possui maior compatibilidade físico-química com os materiais utilizados anteriormente na estrutura a ser consolidada. Contudo, o cimento Portland pode apresentar características mecânicas mais satisfatórias, sendo assim, é de se considerar a utilização destes dois tipos de aglomerantes.

Os aditivos químicos são elementos de importante papel na composição de uma calda. A utilização de um aditivo plastificante possibilita a redução nos

teores de água adicionados e/ou redução no consumo de cimento Portland, e ainda, é capaz de melhorar a fluidez do material sem afetar a resistência.

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas diversas fórmulas para estes aditivos. Inicialmente foram utilizados os lignossulfonatos, de base orgânica, em seguida passaram a ser comercializados os superplastificantes de base naftaleno ou melamina, e, por fim, hiperplastificantes com base policarboxilato, sendo este a última geração. Os plastificantes de base lignossulfonato, naftaleno e policarboxilato são objetos deste trabalho.

Este estudo se trata de caldas de injeção à base de cal e cimento, com adição de diferentes aditivos plastificantes. A fim de determinar a influência do aditivo plastificante adicionado, no que diz respeito às suas propriedades em estado fluido e sólido, foram aplicadas metodologias para a verificação de resultados acerca da fluidez do material, injetabilidade, resistência à flexão e compressão, aderência e interação com substrato rochoso de granito.

1.2. Objetivos

O estudo sobre as caldas de injeção são de extrema importância, uma vez que é um método de reabilitação de alvenarias antigas muito utilizado. Ainda que haja diversos estudos sobre o tema, ainda há inúmeros pontos a serem explorados, como por exemplo a interação entre os diferentes aditivos plastificantes e a cal hidráulica. Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência do aditivo plastificante nas propriedades físicas e mecânicas das caldas de injeção, tanto isoladamente, quanto na sua interação com o granito.

1.2.1. Objetivos específicos

Verificar as características destas caldas quanto:

- Às características físicas e mecânicas em estado fresco e endurecido.
- À aderência em suporte pétreo de granito aos 28 e 90 dias.
- À resistência à compressão uniaxial aos 28 dias do conjunto calda + granito, proveniente do ensaio de injetabilidade.

1.3. Justificativa

É clara a importância de aprofundar o conhecimento sobre as técnicas de reabilitação e restauro, principalmente para que ocorra a preservação da história contida nas diversas edificações históricas.

Um importante elemento na composição de uma calda é o aditivo plastificante. Encontram-se na literatura diversos estudos que relacionam estes aditivos com argamassas ou concretos que utilizam somente cimento Portland como aglomerante. Ainda, dada a sua crescente produção e utilização na atualidade, é possível encontrar no mercado plastificantes com bases químicas variadas.

Não se sabe a real influência dos aditivos plastificantes e suas diferentes bases químicas em caldas que apresentam cal hidráulica em sua composição, portanto, julga-se necessário o estudo e análise experimental destes aditivos plastificantes em caldas que contenham cal hidráulica.

1.4. Conteúdo e estrutura da tese

Este estudo é dividido em 6 capítulos, referências e anexos. O primeiro capítulo é introdutório ao tema abordado. Os outros 5 capítulos são: Estado do conhecimento sobre caldas de injeção, Aditivos redutores de água, Procedimento Experimental, Resultados e Discussão, e Conclusão e Trabalhos futuros.

Os capítulos 2 e 3 fazem um levantamento de conhecimentos já existentes baseados em estudos, normas e resultados experimentais. O **capítulo 2** aborda o conhecimento sobre as caldas de injeção, apresentando suas características, propriedades físicas e mecânicas, e uma pequena caracterização dos materiais que as compõe. O **capítulo 3** trata dos aditivos redutores de água, conhecidos como plastificantes, apresentando seu histórico e evolução durante os anos.

No **capítulo 4** estão descritos os procedimentos realizados durante a campanha experimental. São apresentados as normas e equipamentos utilizados para a execução das caldas, execução dos corpos de prova e realização dos ensaios. Os ensaios realizados foram: fluidez, exsudação,

expansão, injetabilidade, resistência à compressão e flexão e aderência em suporte pétreo.

O **capítulo 5** dedica-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos nos ensaios do capítulo anterior. São comparados os resultados e propriedades das 6 caldas, analisando a influência dos diferentes plastificantes.

Por fim, o **capítulo 6** apresenta as principais conclusões acerca do assunto estudado e apresenta sugestões de possíveis trabalhos futuros.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE CALDAS DE INJEÇÃO

2.1. Introdução

O conceito de Patrimônio, enquanto imagem da história e evolução de uma cultura, tem vindo a ser crescentemente alargado e a sua importância acrescida. A preservação, em particular do património edificado, impõe um estudo amplo da sua história, dos materiais e técnicas usadas na sua construção, bem como uma sensibilidade suficiente para intervir de forma cuidadosa e com respeito em relação ao existente.

As construções antigas, com o seu carácter artístico, histórico, simbólico ou morfológico, constituem elementos importantes para a definição e compreensão da identidade cultural dos povos ao longo dos tempos [1]. Estas construções ditas “antigas” são assim denominadas por pertencerem a uma época anterior à existência do cimento, onde utilizavam a par com a madeira, as pedras como material com capacidade estrutural. O valor patrimonial, cultural e arquitetónico fez com que o reforço dessas estruturas seja, hoje em dia, de grande interesse [2].

As estruturas de alvenaria de pedra apresentam uma boa capacidade resistente e um comportamento frágil para esforços de tração/flexão [3]. Pode-se verificar a existência de estruturas de alvenarias de pedra por toda a Europa, tanto em centros históricos, como urbanos, variando tanto a tipologia construtiva como a natureza do elemento de sobreposição (granitos, calcários, xisto ou tijolo cerâmico), com utilização em geral, de uma argamassa de assentamento à base de cal. Estas argamassas desempenhavam mais a função de preencher os espaços livres entre as unidades de alvenaria, criando boas condições para o seu assentamento, do que propriamente para constituir “ligações químicas” com as unidades utilizadas [2].

Fatores como a disponibilidade dos materiais, a época, os costumes e o local de construção, acabavam por influenciar a constituição diversificada das paredes de alvenaria, tanto no que diz respeito ao elemento unitário como os materiais que constituíam as argamassas de assentamento e reboco. O granito,

elemento pétreo comum neste tipo de construções na zona norte e centro de Portugal, permite a construção de dois tipos de paredes com sistema de construção diferente. Por um lado, a alvenaria de pedra aparelhada rústica ou alvenaria mista, por utilizar pedras irregulares assentes em argamassa, escolhendo-se, para formar os paramentos, as pedras rijas de melhor aspeto e que se aparelham numa das faces, apresentando o aspeto de um polígono irregular no paramento que fica à vista. A pedra talhada era aplicada nos dois paramentos ou só em um, sendo o interior de pedra irregular (Figura 1a). Por outro lado, o granito cortado em elementos retangulares e de grandes dimensões dá origem a alvenarias de pedra aparelhada ou a denominada parede de cantaria (Figura 1b) [4].

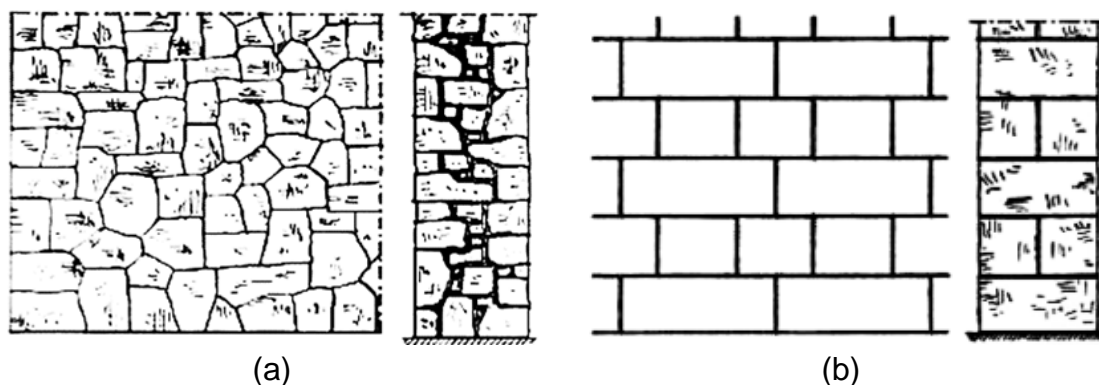


Figura 1: Exemplos de alvenaria de pedra (a) Alvenaria de pedra aparelhada rústica (b) Parede de cantaria.

O granito é uma das rochas mais abundantes e mais conhecidas da Terra. É uma rocha ígnea que compreende cristais de quartzo, feldspato, mica e/ou hornblenda ou piroxeno. Estes cristais costumam ser grandes (alguns mm), podendo ser vistos a olho nu, dão ao granito sua textura áspera em superfícies desgastadas pelo tempo. Este material tem grande importância nas construções antigas devido à sua boa aparência, dureza, resistência ao intemperismo e sua resistência à compressão.

Independentemente da tipologia construtiva usada, a seção transversal destas paredes pode também variar, sendo, em geral, de dois ou três panos, com ou sem ligação transversal. Apesar da grande capacidade resistente do granito, a tipologia construtiva influencia o comportamento mecânico destas estruturas. No caso das paredes de três paramentos, constituídas por dois

paramentos exteriores de granito, com razoável regularidade, são ligados por uma camada interior (o núcleo), a maioria das vezes de muita má qualidade, o que resulta deformações, fendilhação e em último caso o colapso.

As recomendações para consolidação e reforço deste tipo de construções são, segundo as recomendações do Conselho Nacional dos Monumentos e Sítios (ICOMOS) [5] e por ordem de preferência, o refechamento das juntas da alvenaria existente, a consolidação da parede com argamassa de injeção do tipo “*grout*”; a inclusão de armaduras metálicas, verticais ou longitudinais; a remoção e reposição de material deteriorado e o desmonte e a reconstrução, parcial ou total. Embora seja uma técnica irreversível, a injeção de caldas fluidas (*grouts*) é utilizada com o objetivo de melhorar as características intrínsecas da alvenaria [6], preenchendo cavidades, sejam fissuras ou vazios interiores.

2.2. Injeção de caldas fluidas como técnica de reforço e consolidação

A injeção de caldas fluidas é uma técnica amplamente utilizada, que pode ser utilizada para duas finalidades diferentes: consolidação e estabilização de estruturas de alvenarias antigas, ou então para conservação de revestimentos decorativos, reestabelecendo a aderência entre as camadas do reboco ou entre o reboco e o suporte [7]. O foco principal deste trabalho são as caldas para consolidação e estabilização de estruturas, objetivando preencher vazios internos, aumentando a continuidade da alvenaria, portanto, melhorando as resistências ao cisalhamento, flexão e compressão. Um ponto de grande importância nesta técnica de intervenção, é o fato de ser pouco intrusiva, embora não reversível [8], [9].

Sendo assim, as caldas são injetadas em vazios existentes nas paredes, a fim de preencher cavidades, sendo fissuras, fendas ou vazios interiores através de pequeno orifícios ou mesmo fendas já existentes. Esta técnica, representada na Figura 2, torna-se bastante eficiente se os elementos que compõe a estrutura apresentarem porosidade aberta, ou seja, uma rede comunicante entre os vazios [10]. Esta técnica tem como grande vantagem manter o aspecto original exterior das paredes, sendo uma solução frequentemente utilizada em edifícios de

reconhecido valor artístico e/ou arquitetônico, que necessite de intervenção e preservação do aspecto original [2].



Figura 2: Exemplo de injeção de paredes de alvenaria [11].

O processo de injeção de caldas é uma tarefa que requer alguns cuidados. Em muitos casos, a injeção da calda ou o revestimento da parede falha devido, principalmente, à incompatibilidade em termos de rigidez entre o original e os novos elementos estruturais, ao pouco trabalho em busca de um diagnóstico e à falta de conhecimento do material e da estrutura [3].

Conforme Binda et al. [9], os principais problemas relacionados à injeção de caldas podem ser:

- a) falta de conhecimento sobre a distribuição do tamanho dos vazios na parede;
- b) dificuldade na penetração da calda em aberturas finas (2-3 mm);
- c) a presença na parede de vazios, tanto de tamanhos finos e grossos, o que dificulta a escolha da viscosidade da calda mais adequadas;
- d) a segregação e retração da calda devido à alta taxa de absorção do material a ser consolidado;
- e) dificuldade de penetração da calda, principalmente na presença de materiais siltosos ou argilosos;
- f) necessidade de pressão de injeção suficientemente baixa para evitar a retenção do ar nas fendas e vazios finos ou até mesmo na ruptura da parede.

Deste modo, a efetividade de um reparo por injeção de calda depende não só das características da calda injetada, mas também de suas propriedades mecânicas, da técnica de injeção adotada, bem como a compatibilidade entre a calda e o substrato, que visa minimizar as alterações das características de rigidez da construção [9].

A técnica de injeção em paredes antigas consiste na execução de furos ligeiramente inclinados para baixo e adequadamente dispostos [4] nas duas faces da alvenaria, se possível, para formar um “*grid*”. A distância entre os furos, bem como seu diâmetro, dependem do tipo e da espessura da alvenaria, dos danos que esta apresenta e são determinadas pelo projetista [12], [13]. A localização dos furos em uma face não deve coincidir com a localização na outra face.

Em seguida, para uma melhor aderência da calda, as zonas a serem consolidadas que estiverem abertas devem ser limpas para remoção de toda a impureza. Posteriormente devem ser umedecidas, evitando que o suporte absorva a água de amassadura [7], [12]. Para estruturas mais vulneráveis, do ponto de vista mecânico, a injeção das caldas deve ser realizada a uma altura inferior a 1 m/dia, evitando a ocorrência de pressões hidrostáticas excessivas das caldas, que poderão danificar gravemente a estrutura [10].

As entradas e saídas correspondentes da calda são registradas, juntamente com o volume da calda consumida, bem como qualquer alteração da pressão de injeção na entrada da parede. Desta forma, o processo de injeção é mais bem controlado e a qualidade da intervenção pode ser garantida [12].

O modo de injeção pode variar consoante o tipo de intervenção e o estado da estrutura, ou seja, podem ser aplicadas através de diferentes técnicas: injeção manual, gravidade, sob pressão através de equipamento específico, ou ainda, através de pistolas elétricas. Ao introduzir a calda nos vazios, deve-se cuidar para não injetar quantidades excessivas, evitando a ruptura e saída do líquido por excesso de peso e pressão. Ainda, deve-se injetar devagar, sem turbulência, para evitar a formação de bolhas de ar [7].

No caso da solução mais utilizada, a técnica sob pressão, a pressão deve se situar entre 0,7 e 1,5 atm, podendo ser calibrada a qualquer momento, a fim de evitar o movimento de materiais soltos ou o aparecimento de fendas [4].

Após a consolidação da estrutura, deve-se verificar se ainda restam vazios no interior da estrutura. Por fim, quando o trabalho estiver finalizado, os orifícios podem ser fechados utilizando uma calda semelhante à original [7].

2.3. Propriedades físicas e mecânicas de uma calda de injeção

A aplicação de caldas fluidas por injeção em paredes de construções antigas deve basear-se em estudos prévios que permitam avaliar o estado em que se encontra a estrutura, as dimensões das cavidades e fissuras existentes, como também a identificação dos materiais existentes, nomeadamente o seu estado de degradação, as suas características físicas e a sua composição química. Só poderão ser obtidos bons resultados na aplicação desta técnica se os materiais a aplicar forem compatíveis com os existentes e obedecerem a uma série de requisitos reológicos, físicos e mecânicos, resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Principais requisitos das caldas de injeção. Adaptado de [13].

Requisitos reológicos	<p>Pretende-se fluidez durante tempo suficiente e capacidade de penetração uniforme, de modo que todos os vazios sejam preenchidos de igual forma (injetabilidade);</p> <p>A exsudação deve ser mínima, para diminuir a presença de vazios quando a mistura estiver no estado endurecido;</p> <p>De preferência ausência de segregações (para evitar heterogeneidades).</p>
Requisitos químicos	<p>Deverá ter características químicas estáveis no tempo, ou seja, ser capaz de formar ligações químicas fortes com o material existente, através de reações irreversíveis.</p> <p>Deverá ser resistente aos sais de sulfato, de modo a evitar a formação de produtos expansivos e eflorescências;</p> <p>O teor de álcalis deverá ser mínimo.</p>
Requisitos físicos	<p>O tempo de início da pega deverá ser adequado ao tempo necessário para a execução da injeção;</p> <p>As propriedades higroscópicas deverão ser insolubilidade em água e estabilidade volumétrica na presença de umidade;</p> <p>Pretende-se que a calda tenha uma retração baixa.</p>
Requisitos mecânicos	<p>As características de resistência mecânica e, essencialmente, de rigidez deverão ser similares aos materiais originais ou apenas ligeiramente superiores;</p> <p>As caldas e argamassas deverão ter boa e adequada aderência ao suporte para o bom funcionamento do conjunto.</p>
Requisitos térmicos	<p>Pretende-se que a calda tenha baixo calor de hidratação para evitar o desenvolvimento de gradientes térmicos que possam prejudicar a aderência do suporte.</p>

Definem-se a seguir algumas das propriedades referidas na Tabela 1 e que devem ser consideradas para assegurar a eficiência destes materiais em trabalhos de reparação e consolidação.

2.3.1. Injetabilidade

A injetabilidade, basicamente, é a capacidade da calda de penetrar aberturas, fissuras e canais de fissuras, além de manter tal característica por um período o qual permita uma injeção fácil. Podemos ter como fator limitante desta capacidade a reologia da calda injetada ou a tendência de filtração da calda. Esta tendência de filtração é a propriedade que define sua capacidade de formar um tampão em um vazio no interior ou durante a entrada da injeção [14]. Ainda, a

máxima dimensão das partículas constituintes da calda devem ser consideravelmente menores que a abertura dos orifícios ou diâmetro dos vazios a serem preenchidos [4].

A capacidade de penetração da calda é uma das propriedades mais importantes para se obter um bom resultado de injeção. O bom resultado geralmente é sinônimo de um preenchimento durável da estrutura reparada [15].

É possível avaliar esta propriedade através do ensaio de injetabilidade, que consiste em injetar calda a uma pressão constante em um cilindro de acrílico, preenchido com algum tipo de pedra. Esta metodologia será descrita no tópico 4.3.3.

2.3.2. Fluidez

A fluidez pode ser definida como o tempo necessário para uma certa quantidade de calda passar por uma determinada seção de vazão. A fluidez depende, principalmente, da distribuição granulométrica dos grãos, da natureza e forma dos grãos, o teor de água e o método de mistura. A fluidez pode ser aprimorada por vários meios, como aumento do teor de água, uso de método de mistura adequado e adição de plastificante à mistura. Lembra-se que a água não deve ser adicionada a quantidades excessivas, portanto, a adição de um aditivo plastificante seria benéfica a esse respeito, desde que suas propriedades sejam verificadas e sejam adequadas para a mistura específica [12].

De acordo com a norma ASTM C939 [16], o tempo máximo para que escoar 1 litro de calda através do Cone de Marsh é de 35 segundos. Contudo, a NP EN 445 [17] não determina nenhum tempo limite. Neste trabalho experimental, não será levado em conta um tempo limite, uma vez que estes resultados serão utilizados apenas para comparação entre as caldas aqui estudadas.

2.3.3. Estabilidade

A estabilidade de uma calda representa sua capacidade de preservar sua homogeneidade durante a injeção e até o seu endurecimento após a injeção. Esta propriedade é determinada pela velocidade usada na concepção da mistura

e varia com a introdução de elementos com características fluidificantes, retentoras de água ou introdutoras de ar [12].

A estabilidade pode ser melhorada pela introdução de finos, como cal, cinzas volantes, ou sílica de fumo. Pode-se afirmar que conseguir a estabilidade em uma calda de injeção constitui um objetivo fundamental, pois é a condição onde obtém as mesmas propriedades em todos os locais no seio do material quando esta passa do estado fresco para o estado endurecido [4], [18].

A norma NP EN 447 (2008) [19] determina que a exsudação de uma calda à base de cimento deve ser inferior à 2%, contudo, Vintzileou [12] afirma que a exsudação deve ser inferior à 5%.

2.3.4. Tempo de pega

A norma brasileira ABNT NBR 16607 (2018) [20] determina que o tempo de pega é o intervalo entre o momento em que a agulha de Vicat penetra (6 ± 2) mm no material e o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm do material, em condições normalizadas de ensaio.

O tempo de pega deve ser suficientemente longo para permitir a manutenção da fluidez necessária durante a fase de injeção. O tempo de pega é influenciado por diversos fatores: a temperatura durante a amassadura, a temperatura durante a aplicação, a quantidade de material misturado e a forma do recipiente de mistura [4].

Sendo o tempo de pega inversamente proporcional à temperatura e a reação da pega uma reação exotérmica, tem-se uma atenção às condições que possam impedir a dissipação do calor (como amassadura de grandes quantidades de material), pois esse impedimento tem como efeito uma aceleração de pega [4].

2.3.5. Resistências mecânicas

Esta propriedade deve apresentar a máxima concordância possível com a do substrato. O principal interesse é que contribuam de forma significativa não

só para a melhoria da coesão, mas também para o aumento da resistência mecânica do conjunto [10].

As forças mecânicas das caldas devem ser capazes de suportar esforços mecânicos e de absorver tensões transmitidas, porém, não devem ser maiores que as argamassas originais. É recomendável que as caldas não sejam excessivamente rígidas, com um módulo de elasticidade similar ao do revestimento original. Contudo, há uma grande dificuldade em determinar a resistência dos revestimentos antigos, pelo fato de ser inevitável a extração de uma amostra para ensaios em laboratório [7].

De forma a preservar as características dinâmicas da estrutura, o material a ser injetado deve possuir um módulo de elasticidade inferior à 80% do valor do módulo de elasticidade do substrato e a resistência à compressão 60% inferior ao valor do substrato [7].

2.3.6. Variação de volume

As variações de volume na calda de injeção podem ser por retração ou expansão. Essas variações geram tensões no interior do material, as quais, se forem superiores à resistência do material, provocam fissuração. A expansão pode ocorrer de forma química, resultante de alguns dos produtos de hidratação ocuparem mais espaço do que os reagentes associados, exercendo uma pressão cristalina durante a formação, resultando um aumento de volume [4].

A retração pode ser química (elementos após a hidratação podem ocupar volumes menores que o inicial), autógena e/ou por secagem. A retração é uma característica com relação direta com a correta aderência do material. Uma retração excessiva pode afetar negativamente. É sugerida como valor limite uma contração volumétrica do máximo de 4% [4], [7].

2.3.7. Aderência

É a propriedade responsável pelas restrições às deformações, permitindo a transferência de tensões na interface, fazendo com que o conjunto apresente deformações homogêneas e compatíveis. Estas deformações podem ser por variações diferenciais entre a calda e o suporte, choques ou pressões de vapor,

bem como a não condução de concentrações de tensões em pontos localizados [10].

Desta forma, nota-se a importância da aderência entre as caldas e os substratos em contato, pois, se formarem fissuras ou vazios, estes locais podem ser favoráveis para a entrada de água. Uma vez endurecida, a calda transforma-se num novo suporte, fazendo a ponte entre a estrutura resistente e a degradada, estabelecendo uma maior resistência do revestimento [7].

A NBR 13528 [21] não determina um valor específico para a resistência à aderência, porém, de acordo com Tavares et al [22], esta resistência deverá ser maior ou igual a 0,1 N/mm² (ou 0,1 MPa).

2.4. Composição das caldas para injeção de construções antigas

O estudo sobre caldas estruturais já estão consolidados com uma extensa literatura a respeito das suas técnicas de aplicação, equipamentos e dos inúmeros produtos existentes no mercado [7]. Segundo a Norma ASTM C1180-03a [23], calda é a “mistura de materiais cimentícios, agregados, água, com ou sem aditivos, inicialmente produzidos com consistência de vazamento sem segregação”. No entanto, sabe-se que materiais muito ricos em cimento aplicados em estruturas antigas trazem uma série de problemas, tanto a curto como a longo prazo. Ao longo dos últimos anos, diversos investigadores têm tentado encontrar a calda mais adequada a cada caso, recorrendo para isso a diversos ensaios laboratoriais e aos mais diversos materiais de composição, como cal hidratada (CL), cal hidráulica (HL), cimento (CEM), pozolanas (PZ), bentonite (BT), metacaulino (MK), sílica de fumo (SF) e plastificantes (SP). Na Tabela 2, pode ver-se alguns exemplos de composições de caldas elaboradas em laboratório as quais apresentaram resultados satisfatórios para serem usadas em trabalhos de consolidação e reforço de alvenaria em pedra.

Tabela 2: Exemplos de composições na literatura.

Autor	Composição das caldas	Relação água – aglomerante (W/S)
Valluzzi [24]	HL + SP	$0,50 < W/S < 0,55$
Toumbakari [25]	CL + CEM + PZ + SP CL + CEM + PZ + SF + SP	$0,85 < W/S < 1,1$
Ignoul et al. [26]	CEM + BT + SP	0,66
Adami & Vintzileou [27]	CL + CEM + PZ + SP	$0,80 < W/S < 0,9$
Kalagri et al. [28]	CL + CEM + PZ + SP HL + SP	$0,70 < W/S < 0,8$
Luso [4]	CL + CEM + MK + SP	$0,58 < W/S < 0,97$
Klosowski [29]	HL + CEM + SP	0,50

Pode observar-se que a utilização de plastificantes é frequente, devido à necessidade de aumentar a fluidez das caldas, diminuindo o máximo possível a relação água e materiais sólidos. A descrição da qualidade e origem do plastificante usado nestas composições é, majoritariamente, muito escassa, estando apenas referida a marca da empresa fornecedora. Não se pode afirmar qual o aditivo mais apropriado nestes casos, visto que são formulados para materiais cimentícios e não para caldas que contenham cal em sua composição, pelo que o presente trabalho procura aprofundar.

Entre as caldas da Tabela 2, foi selecionada a composição de Klosowski [29] para seguir com a pesquisa laboratorial, de forma a continuar o seu trabalho. A calda é composta por 70% da massa de aglomerante de cal hidráulica (HL), 30% de cimento Portland branco (CEM) e 0,3% da massa total de aglomerante de aditivos com função plastificante (SP), os quais variam entre marcas e bases químicas. Abaixo são apresentadas as características e informações dos materiais mais relevantes a este estudo.

2.4.1. Cal hidráulica

A cal é um dos materiais mais nobres e um dos primeiros a ser empregue na arquitetura e revestimento de paredes. A utilização mais antiga da cal que se tem conhecimento foi na época neolítica, na Turquia, 6.000 a.C.. Os gregos, durante os séculos VII e II a.C. foram os primeiros a usar a argamassa de cal

como revestimento de paredes, contudo, foram os romanos, durante os séculos III a.C. e V d.C. que dominaram a técnica da execução das argamassas de cal, tornando-a muito mais eficaz como revestimento [7].

Trazendo a história mais para o presente, no século XVIII, a Inglaterra era a primeira potência mundial e o seu desenvolvimento econômico era bastante relacionado à circulação marítima. A necessidade em construir em zonas marítimas e fluviais motivou o engenheiro inglês John Smeaton a estudar um aglomerante capaz de endurecer em condições submersas à água, a cal hidráulica. No século XIX, Collet-Descotils, um professor francês, descobre que a combinação da sílica com a cal confere-lhe propriedades hidráulicas. Este estudo foi feito com precisão pelo engenheiro e cientista francês Louis Vicat, ainda no século XIX, o qual pôde assim compreender o mecanismo que leva ao endurecimento das cals com pozolanas [30].

De acordo com a NP EN 459-1 (2011) [31], a cal é um material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio (CaO) e/ou o óxido de magnésio (MgO) e/ou os hidróxidos (Ca (OH)₂ e Mg (OH)₂).

Uma pedra calcária (CaCO₃) que contenha de 8 a 20% de argila, ao ser aquecida a cerca de 1.000°C, origina a cal hidráulica. Neste processo, chamado de calcinação, o carbonato de cálcio contido na pedra calcária é decomposto, perdendo dióxido de carbono gasoso e 40% do seu peso [32], [33]. O endurecimento da cal hidráulica é composto por duas reações. A primeira ocorre com a hidratação dos silicatos (SiO₂, 2CaO) e aluminatos de cálcio (Al₂O₃, CaO) constituintes da cal, que endurecem na água ou ao ar. A segunda reação dá-se pelo óxido de cálcio (CaO) – pelo menos 3%, que continua livre e que vai endurecer por carbonatação durante o envelhecimento do material [32].

O processo de carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera penetra gradualmente no material, ocorrendo a fase final do endurecimento. Desta forma, a utilização da cal hidratada pode não contribuir para a reparação e fortalecimento da alvenaria, pois sabe-se que a difusão do ar no interior da alvenaria é um processo lento, portanto, reduz a velocidade do

endurecimento, e conseqüentemente, ocorre um aumento lento das propriedades mecânicas deste ligante. Ainda, há casos em que, pela ausência do dióxido de carbono (CO_2), o endurecimento não ocorre. De outro modo, a cal hidráulica, por endurecer na presença de água, se apresenta uma opção muito interessante na composição de uma calda de injeção [32], [34].

2.4.2. Cimento Portland Branco

De acordo com a norma EN 197-1 (2011) [35], o cimento é um aglutinante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água, forma uma pasta que endurece por meio de reações e processos de hidratação e que, após o endurecimento, mantém sua resistência e estabilidade mesmo quando em contato com a água. Ainda, o cimento, quando adequadamente misturado com agregado e água, deve ser capaz de produzir concreto ou argamassa que mantenha sua trabalhabilidade por um tempo suficiente e, após períodos definidos, atingir níveis de resistência especificados, além de possuir estabilidade de volume a longo prazo.

O cimento Portland branco é feito a partir de matérias-primas que contêm muito pouco óxido de ferro e óxido de manganês para manter sua coloração clara. Sendo assim, geralmente são utilizadas argilas, giz ou calcário, com menor presença de impurezas. Também para manter sua coloração clara, durante o processo de queima, o carvão é substituído por óleo ou gás, para evitar a contaminação por cinzas. A contaminação do cimento branco com o ferro durante o processo da moagem do clínquer também deve ser evitada, por isso, o sistema de moinho de bolas metálicas usual é substituído por bolas de níquel ou molibdênio. Portanto, o custo da moagem é mais alto e associado às matérias-primas mais caras, torna o cimento branco cerca de três vezes mais caro que o cimento Portland comum, ainda que a sua resistência geralmente seja um pouco inferior à resistência do cimento Portland comum [36].

Inicialmente, as caldas apresentavam somente o cimento como aglomerante. Porém, foi comprovado que suas propriedades em estado fresco eram inadequadas para o preenchimento de vazios de pequenas dimensões devido ao entupimento, ou seja, a calda possuía deficiências na fluidez [34].

Caldas compostas por 50 a 75% de cimento provaram eficientes na melhoria das propriedades mecânicas das alvenarias a serem injetadas, porém, testes mecânicos não confirmaram a necessidade de caldas com alto teor de cimento, uma vez que o aumento da resistência na alvenaria não é proporcional. Com isso, caldas com menor teor de cimento (30 a 50%) proporcionam uma melhoria substancial das propriedades mecânicas da alvenaria [37].

2.4.3. Aditivos químicos

De acordo com a ABNT NBR 11768 (2011) [38], aditivo para concreto é um produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido.

Ainda conforme a norma referida acima, os aditivos podem ser [38]:

- Aditivo redutor de água/plastificante: sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o conteúdo de água de um concreto, ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando sua fluidez;
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo I: aditivo semelhante ao plastificante, porém com um efeito superior;
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo II: aditivo também semelhante ao plastificante, porém com um efeito ainda maior que o superplastificante tipo I;
- Aditivo incorporador de ar: permite incorporar, durante o amassamento do concreto, uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, uniformemente distribuídas, que permanecem no estado endurecido;
- Aditivo acelerador de pega: diminui o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto;

- Aditivo acelerador de resistência: aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificação do tempo de pega;
- Aditivo retardador de pega: aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto.

Ainda que os aditivos sejam específicos para concretos e/ou argamassas, têm sido utilizados para melhorar as propriedades de caldas de injeção elaboradas experimentalmente. Neste caso, os aditivos mais usados são os redutores de água, uma vez que atuam diretamente sobre a fluidez da calda, uma propriedade de grande importância.

3. ADITIVOS REDUTORES DE ÁGUA

3.1. Histórico

A primeira utilização do que, no futuro seria o aditivo redutor de água, ocorreu no antigo império romano. Era comum a utilização da albumina (encontrada no sangue e clara de ovo), leite ou banha, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade das misturas [39].

A utilização de aditivos redutores de água (aditivos plastificantes) aumentou consideravelmente desde a sua introdução no final dos anos 60, aumentando bastante sua gama de aplicações e tornando-se um componente essencial do concreto [40].

Estes aditivos têm sido amplamente utilizados como dispersantes de partículas de cimento, a fim de melhorar a trabalhabilidade do concreto na prática. São utilizadas cerca de 800.000 toneladas de plastificantes no mundo todo a cada ano. Em locais de clima quente, esses aditivos com efeitos retardadores são comumente usados para reduzir a taxa de hidratação do cimento, prologando sua trabalhabilidade [41], [42].

Outra grande importância é a crescente preocupação ambiental, em relação às emissões de CO₂. Por isso, busca-se a substituição parcial do cimento Portland por outro produto que emita menos CO₂ na sua produção. Contudo, essa substituição (de cimento Portland por sílica ativa, por exemplo) só é possível com a adição de plastificantes, uma vez que estas adições minerais exigem uma maior demanda de água adicionada para garantir uma trabalhabilidade adequada [40], [43].

3.2. Gerações de aditivos redutores de água

Atualmente, os aditivos redutores de água comercializados podem ser divididos em 3 grupos distintos, em função da sua evolução: os aditivos de 1ª geração, denominados plastificantes, aditivos de 2ª geração, os superplastificantes, e aditivos de 3ª geração, que podem ser chamados de hiperplastificantes [44].

3.2.1. Aditivos de 1ª geração (plastificantes)

Há cerca de 80 anos, descobriu-se que certas moléculas orgânicas poderiam ser utilizadas para a redução da floculação do cimento [45]. A primeira substância a ser utilizada em larga escala, em 1930, foram os aditivos produzidos utilizando como base química os lignossulfonatos, tornando-os aditivos de 1ª geração, ou plastificantes [43].

O lignossulfonato é obtido durante o processo de extração de celulose da madeira, onde um licor residual é formado como um subproduto que contém uma mistura complexa de substâncias, incluindo produtos de decomposição de lignina e celulose, produtos de sulfonatação da lignina, vários carboidratos (açúcares) e ácido sulfuroso livre ou sulfatos. O processo subsequente de neutralização, precipitação e fermentação, produz uma gama de lignossulfonatos de pureza e composição variadas, dependendo de vários fatores como o processo de polpação usado, o grau de fermentação e até o tipo e idade da madeira usada como matéria-prima de celulose [46].

Ao adicionar uma pequena quantidade de água ao cimento, não é possível atingir um sistema bem disperso, uma vez que a água possui alta tensão superficial (estrutura molecular ligada ao hidrogênio) e, ainda, as partículas de cimento tendem a se agrupar ou formar bandos [47].

Para solucionar este problema, pode-se utilizar aditivos químicos. Os lignossulfonatos são tensoativos, ou seja, apresentam moléculas com duas polaridades opostas: uma hidrofílica com afinidade pela água e outra hidrofóbica com afinidade por outros solutos. Quando adicionado à água e cimento, a cadeia polar é absorvida na superfície da partícula de cimento e direciona uma extremidade não polar em direção à água. Assim, não apenas a tensão superficial da água é reduzida, mas também as partículas de cimento se tornam hidrofílicas, impedindo sua floculação. [45], [47]. O comportamento do cimento em água com e sem aditivo plastificante está representada na Figura 3.

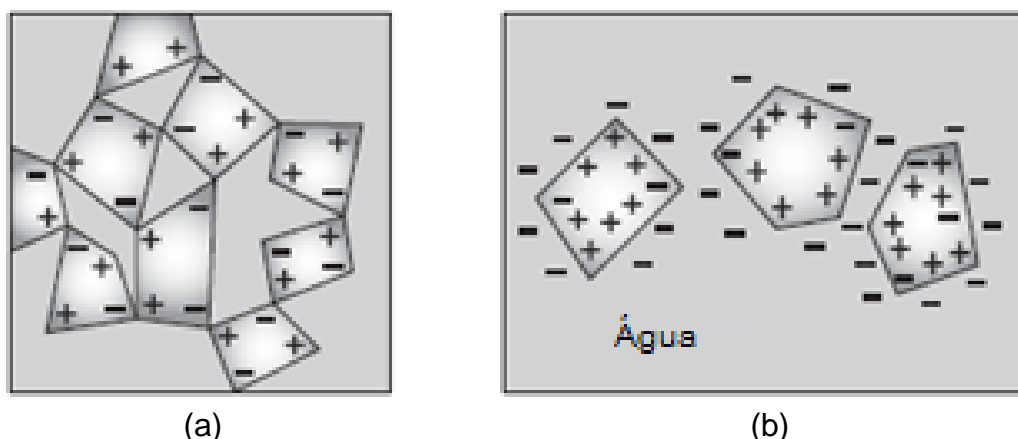


Figura 3: Representação esquemática do comportamento do cimento em água (a) sem a adição de um plastificante (b) com adição de um plastificante. Adaptado de [47].

Estes aditivos permitem a redução de água de amassadura de 8% a 12%. Contudo, os primeiros aditivos com base de lignossulfonatos apresentavam problemas, pois continham altos teores de açúcares na sua composição, causando grande retardo da pega e a incorporação de ar à mistura. Atualmente esses aditivos são submetidos à processos de purificação de forma a remover esses açúcares. Também são submetidos à tratamento térmico com pH controlado e a fermentação [46].

3.2.2. Aditivos de 2ª geração (superplastificantes)

A 2ª geração de plastificante, os superplastificantes, normalmente possui como base química a melamina ou o naftaleno, e permitem uma redução de água de amassadura em até 30%, mantendo as características de fluidez [48].

A melamina é um produto que foi desenvolvido na Alemanha na metade do século passado. É obtido a partir de técnicas de polimerização, muito usado na produção de resinas. Adiciona-se moléculas de melamina às de formaldeído, produzindo o trimetilol-melamina. Ao adicionar bissulfito de sódio (NaHSO_3) tem-se a sua sulfonatação [44], [45].

O naftaleno foi desenvolvido no Japão no final da década de 1960. Este produto é composto por cadeias carbônicas obtidas a partir de uma sequência de reações: sulfonatação, condensação, neutralização e filtração [43], [45].

Ainda que o mecanismo de ação destes aditivos também sejam por repulsão eletrostática como nos plastificantes, as características de reação são diferenciadas, uma vez que, como a melamina e o naftaleno possuem um maior peso molecular, apresentam um alto efeito dispersante e plastificante, apresentando poucos efeitos secundários, como retardamento de pega e incorporação de ar, que permitem uma maior dosagem, proporcionando maior dispersão [49].

A manutenção da plasticidade pode variar com a temperatura ambiente e o consumo de cimento. Os superplastificantes com base de melamina possui um tempo de manutenção de cerca de 30 minutos, enquanto os aditivos com base de naftaleno possuem um tempo de manutenção de cerca de 40 minutos. O fato desses curtos tempos acabou por gerar à esta geração uma má reputação. Portanto, os produtos atualmente disponíveis geralmente contêm adições de lignossulfonatos ou outros materiais retardadores como forma de compensação [45], [47].

3.2.3. Aditivos de 3ª geração (hiperplastificantes)

Os plastificantes de 3ª geração são os aditivos recentemente introduzidos no mercado, conhecidos como aditivos plastificantes de alta eficiência ou ainda hiperplastificantes, pois permitem a redução de água das misturas em até 40%, mantendo a mesma trabalhabilidade [48].

Estes aditivos utilizam como base principalmente os policarboxilatos, que apresentam larga distribuição de massa molecular e sua caracterização química é muito complexa [50]. Em vez de repulsão eletrostática como mecanismo dominante para a dispersão de cimento, esta nova geração utiliza da inibição de locais reativos através da dispersão. Um lado da cadeia de polímero é adsorvido na superfície do grão de cimento, enquanto o lado longo não absorvido cria a repulsão estérica, através de barreiras físicas de curto alcance entre as partículas de cimento [47].

Como o efeito da repulsão dos ésteres é mais eficaz que a repulsão eletrostática, o primeiro exerce uma influência maior sobre a manutenção da plasticidade, mesmo com dosagens consideravelmente mais baixas que os

plastificantes de gerações anteriores [47]. Estes dois métodos de repulsão estão esquematizados na Figura 4.

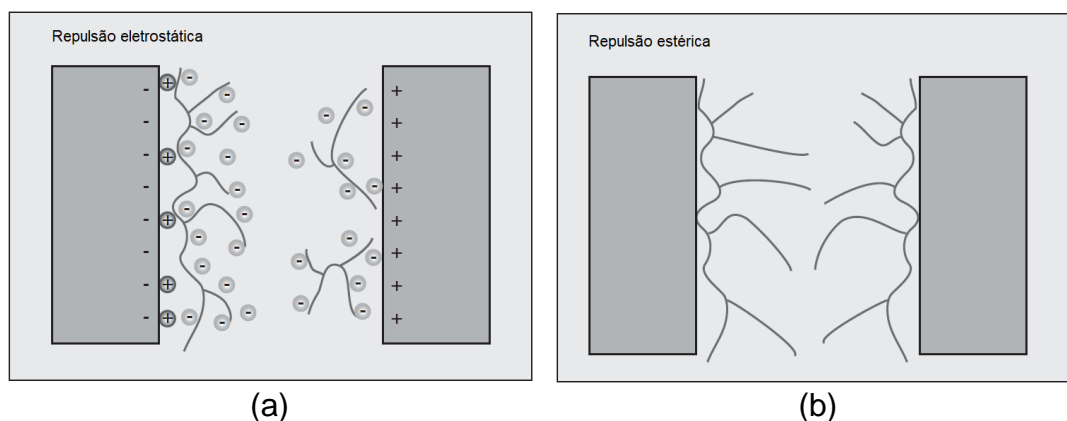


Figura 4: Ilustração esquemática dos mecanismos de ação dos (a) plastificantes e superplastificantes e (b) hiperplastificantes. Adaptado de [47].

Acredita-se que o sucesso da utilização dos policarboxilatos como aditivos plastificantes é devido ao fato de oferecerem uma grande versatilidade da composição de suas estruturas moleculares. Sabendo que sua estrutura molecular tem influência direta sobre o desempenho dos aditivos dispersantes, a ampla possibilidade de adequação das cadeias possibilita a produção de policarboxilatos específicos para situações pontuais [43].

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Tendo em consideração o exposto anteriormente, pretende-se com este capítulo avaliar qual a influência no comportamento, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, quando se faz variar o tipo de plastificante numa calda de injeção já testada. Ao todo, seis caldas são analisadas experimentalmente, todas com a mesma composição base e alternando apenas o aditivo utilizado, variando a base química e marca. Os seis aditivos foram escolhidos a partir da sua disponibilidade e fornecimento dos fabricantes, com enfoque em aditivos de fácil acesso comercial.

A caracterização destas caldas comporta duas partes, uma análise no estado fresco, com determinação de fluidez, exsudação, expansão e injetabilidade e numa fase posterior no estado endurecido com avaliação da resistência mecânica à flexão, resistência mecânica à compressão e aderência.

4.1. Composição das caldas

A composição base das caldas escolhida para a realização deste trabalho experimental, é a composição determinada anteriormente por Klosowski [29]. Esta composição é formada por 70 % em peso de cal hidráulica do tipo HL-5 (HL) da marca Secil, por 30% em peso de cimento Portland branco de calcário do tipo CEMII 32,5R (CEM) da marca Secil e 0,3% relativamente à massa total (HL+CEM) de um aditivo com função plastificante (SP).

Optou-se por uma relação água/aglomerante de 0,5, uma vez que é um valor determinado como limite inferior para a obtenção de uma calda passível de injeção [29].

O aditivo superplastificante utilizado por Klosowski [29] foi o Dynamon SR1 do fabricante MAPEI. Este aditivo possui base acrílica modificada, sendo incluso no grupo dos aditivos de 3ª geração.

Na Tabela 3 é possível observar um resumo dos resultados obtidos por Klosowski [29] para a calda com a composição acima citada.

Tabela 3: Resumo dos resultados obtidos por Klosowski [29].

Fluidez – tempo para escoamento de 1 litro	29,8 s	
Expansão	0%	
Exsudação após 3 horas	1,03%	
Injetabilidade – tempo de enchimento dos cilindros compostos por granito	153,76 s	
Resistência mecânica à flexão	28 dias	2,64 MPa
	90 dias	3,09 MPa
Resistência mecânica à compressão	28 dias	11,37 MPa
	90 dias	16,11 MPa
Aderência ao granito	28 dias	0,32 MPa
	90 dias	0,50 MPa
Porcentagem de calda injetada no cilindro	54,46%	
Resistência mecânica à compressão do cilindro injetado	8,2 MPa	

Ainda que a composição das caldas seja a mesma utilizada por Klosowski [29], os aditivos em estudo diferem na sua base química e empresa fornecedora e estão resumidos na Tabela 4. Três são de base de policarboxilato, dois de lignossulfonato e um de naftaleno. As fichas técnicas de cada plastificante podem ser consultadas nos Anexos A, B, C, D, E e F. Ressalta-se que foi utilizada sempre a mesma quantidade de plastificante para todas as caldas: 0,3% em peso da massa total (HL+CEM).

Tabela 4: Bases químicas e marcas dos aditivos utilizados.

Calda	Aditivo	Marca	Base química	Aspecto
1P	Viscocrete 3002 HE	Sika	Policarboxilato	Líquido castanho claro
2P	Chronos VF 204	MAPEI	Policarboxilato	Líquido castanho claro
3P	Sikaplast 912	Sika	Policarboxilato	Líquido castanho claro
4L	Centrament N3	MC-Bauchemie	Lignossulfonato	Líquido castanho
5N	Muraplast FK 48	MC-Bauchemie	Naftaleno	Líquido castanho
6L	Mapeplast R10	MAPEI	Lignossulfonato	Líquido castanho

As letras contidas na nomenclatura das caldas referem-se às bases químicas dos plastificantes utilizados. Sendo P para policarboxilato, L para lignossulfonato e N para naftaleno.

4.2. Execução das caldas

Para a execução das caldas, usou-se sempre o mesmo procedimento, iniciando-se pela pesagem de todos os materiais necessários para a produção das caldas, utilizando uma balança da Marca Precisa, modelo PJ Precisa Junior 400C – 3000D, com precisão de 0,1 g. Para manter a padronização das caldas, a água utilizada era mantida a uma temperatura controlada, 10°C, 20°C ou 30°C, a depender do ensaio a ser realizado, sendo verificada com um termômetro de mercúrio.

Em seguida, o aditivo foi misturado à água de amassadura, e depois foi adicionado metade desta água ao recipiente de mistura, previamente umedecido. Após, foram colocados a cal hidráulica e o cimento Portland branco, e, por fim, o restante da água de amassadura com adição do aditivo.

A homogeneização da calda foi feita com o auxílio de um misturador de argamassas elétrico da marca Rubi, modelo Rubimix 10 (Figura 5a) com potência de 950 Watts (W) e uma vareta misturadora também da marca Rubi. Os 3 minutos iniciais da homogeneização foram em velocidade média, pressionando o gatilho do misturador até a metade. Após os 3 minutos, houve uma pausa para a mistura ser removida das paredes do recipiente com uma espátula, com o objetivo de retirar algum material depositado no fundo ou nas laterais do recipiente. Em seguida, o misturador foi utilizado com a sua velocidade máxima, equivalente a 700 rotações por minuto (RPM), sendo movimentado circularmente.

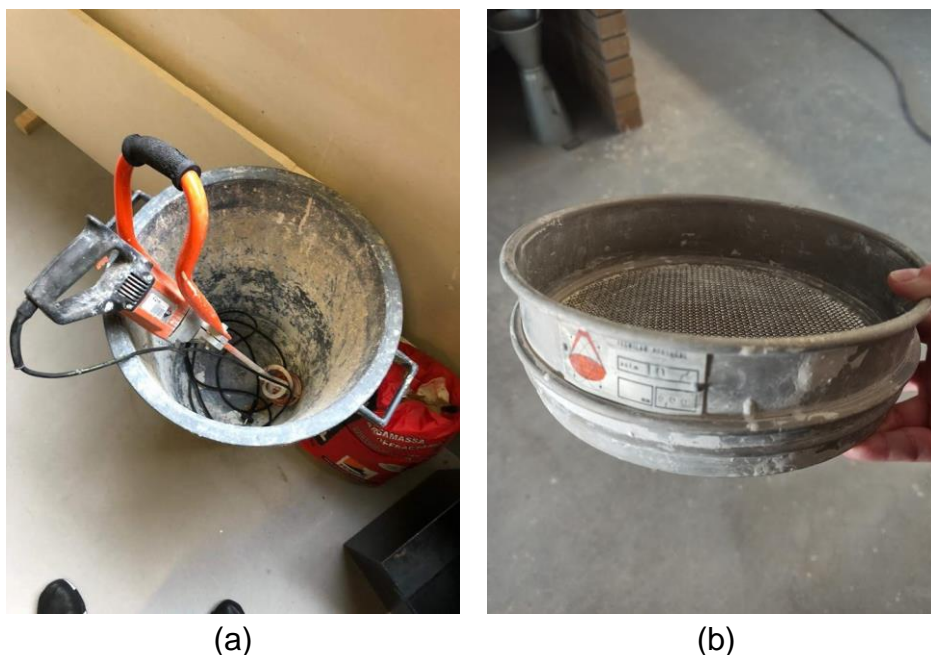


Figura 5: (a) Misturador de argamassas elétrico; (b) Peneira utilizada para remoção de possível material empelotado.

Visando eliminar eventuais materiais mal misturados e/ou empelotados, após o processo de homogeneização as caldas foram passadas por uma peneira com malha de 2 milímetros (Figura 5b). Desta forma, depois das caldas elaboradas, o passo seguinte consistiu em determinar algumas das propriedades das caldas quer no estado fresco quer no estado endurecido.

4.3. Caracterização das caldas – ensaios em estado fresco

4.3.1. Determinação da fluidez

A fluidez de uma calda pode ser determinada de acordo com as normas ASTM C939 (2016) [16], NP EN 445 (2008) [17] ou com a norma brasileira ABNT NBR 7681-2 (2013) [51]. Pode-se definir a fluidez verificando o tempo necessário para que um litro de calda escoa através de um cone metálico, denominado de Cone de Marsh.

Para a determinação da fluidez das caldas de injeção estudadas, foram seguidos os métodos conforme as normas acima citadas. O cone utilizado neste ensaio possui dimensões diferentes das recomendadas pelas normas, contudo, o volume do cone se assemelha ao descrito pela primeira norma [16], de aproximadamente 1,725 litros. Uma representação do cone com suas dimensões

e o cone utilizado estão apresentados na Figura 6. Apesar do cone não seguir o padrão indicado pela norma, admite-se que o procedimento seja válido, uma vez que a comparação será feita entre as caldas aqui estudadas.

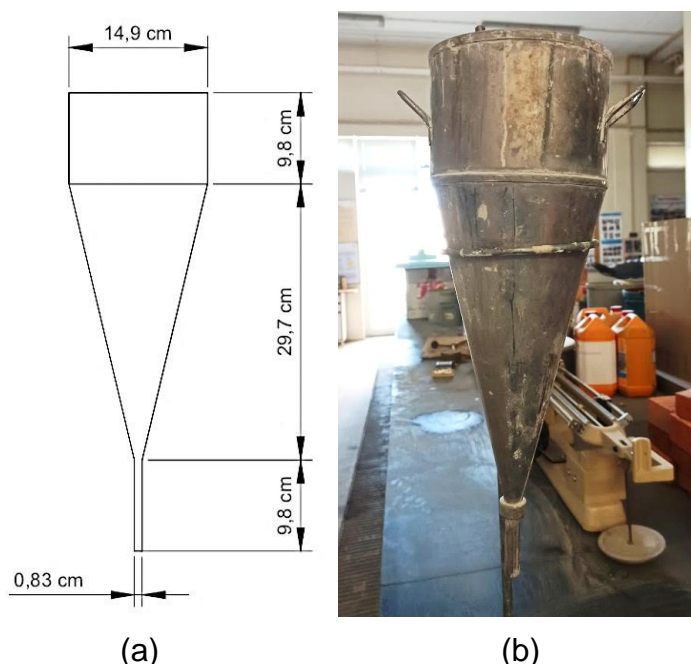


Figura 6: (a) Dimensões do Cone de Marsh utilizado em laboratório. Fonte: Klosowski [29] (b) Cone de Marsh utilizado.

Conforme explicita a norma, o cone foi umidificado anteriormente ao ensaio. Em seguida, o cone foi posicionado de forma nivelada, e então, foi obstruído o orifício de saída com o dedo e despejou-se a calda até a marcação entre o fim do cone e início do cilindro. Feito isso, posicionou-se o cronômetro e, quando o orifício foi desobstruído, deu início a contagem do tempo. A primeira marcação foi realizada quando se atingiu 1 litro de calda escoada, a segunda marcação foi realizada quando houve a interrupção do fluxo de escoamento. Para cada calda, foram realizadas 3 medições logo após o término da mistura e 3 medições após 30 minutos do término da mistura.

4.3.2. Determinação da exsudação e da expansão

Na falta de uma norma abrangente sobre a caracterização das caldas de injeção à base de cal, foi utilizado a norma brasileira ABNT NBR 7681-3 (2013) [52] adaptada, uma vez que esta norma se refere às caldas de cimento.

Neste ensaio, foi utilizado uma proveta graduada com capacidade de 100 mL e precisão de 1 mL, posicionada em superfície horizontal. Foram adicionados 95 mL de calda no interior da proveta, e posteriormente sua extremidade superior foi coberta com filme plástico, com o intuito de evitar troca de gases com o exterior [52].

A norma utilizada para este ensaio exige que a calda seja vertida na proveta até 10 minutos a partir do primeiro contato do aglomerante com a água de amassadura [52]. Como o tempo de mistura das caldas estudadas neste trabalho é de 10 minutos, considerou-se que esse tempo se inicia a partir do término da mistura.

Este ensaio foi realizado uma vez para cada uma das seis caldas, com a água nas temperaturas de 10°C, 20°C e 30°C, totalizando 18 resultados. Foram feitas leituras do volume total e de água exsudada em intervalos de 30 minutos durante 2 horas, portanto, 4 medições.

Para a determinação do índice de expansão e do índice de exsudação, conforme determinado pela norma, os dados obtidos foram aplicados na Equação (1) e Equação (2) abaixo [52].

$$E_{xp} = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{sd} = \frac{V_f - V_s}{V_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

E_{xp} é o índice de expansão, expresso em porcentagem;

V_f é o volume total da calda mais a água exsudada, expresso em cm³;

V_i é o volume inicial de calda introduzida na proveta, expresso em cm³;

E_{sd} é o índice de exsudação, expresso em porcentagem;

V_s é o volume de sólidos, expresso em cm³.

4.3.3. Determinação da injetabilidade

Os ensaios de injetabilidade permitem avaliar a capacidade de injeção de uma calda no seio de material granular de diferente natureza, simulando em laboratório a capacidade de penetração das caldas em paredes.

A metodologia utilizada para a determinação da injetabilidade foi a mesma empregada por Luso [4]. Foram utilizados quatro moldes cilíndricos preenchidos com granito, com umidade e granulometria controladas. A seguir, foram injetadas as caldas nos moldes sob pressão constante, sendo marcados os tempos a cada $\frac{1}{4}$ de altura do molde. Estes tempos foram utilizados para comparação entre as caldas.

4.3.3.1. Execução dos cilindros de injeção

Os moldes cilíndricos utilizados são fabricados em acrílico transparente para que seja possível acompanhar o processo da injeção, com altura de 30 cm e diâmetro de 15 cm. Para a vedação do cilindro, há tampas removíveis, também de acrílico, e quatro barras de ferro roscadas. As tampas dos cilindros possuem cinco orifícios: quatro com diâmetros de 6 mm e um com diâmetro de 10 mm, com o objetivo de promover a saída do ar. As bases possuem apenas um orifício de 10 mm, por onde a calda é injetada. É possível verificar estes moldes na Figura 7a.

Inicialmente, os moldes foram limpos e lubrificados com uma camada de desmoldante. Em seguida, foram inseridas as pedras de granito (sua caracterização encontra-se no ANEXO G) e compactadas no interior do molde. Acima das britas foi posicionado um fino tecido, com um pequeno orifício no meio, com o objetivo de permitir o fluxo de calda somente através do orifício central da tampa. Por fim, o cilindro foi fechado rosqueando as barras de ferro através de borboletas (Figura 7b).

Após a preparação dos moldes, as caldas foram elaboradas conforme o item 4.2. Estas caldas passaram pela peneira com malha de 2 milímetros e foram vertidas dentro de uma panela de injeção (Figura 7c). Esta panela consegue injetar a calda com uma pressão constante, que, neste ensaio, foi configurado para 1,5 atmosfera, sendo controlado por um manômetro. Após o controle da

pressão, a mangueira conectada na panela foi conectada aos orifícios inferiores dos cilindros.

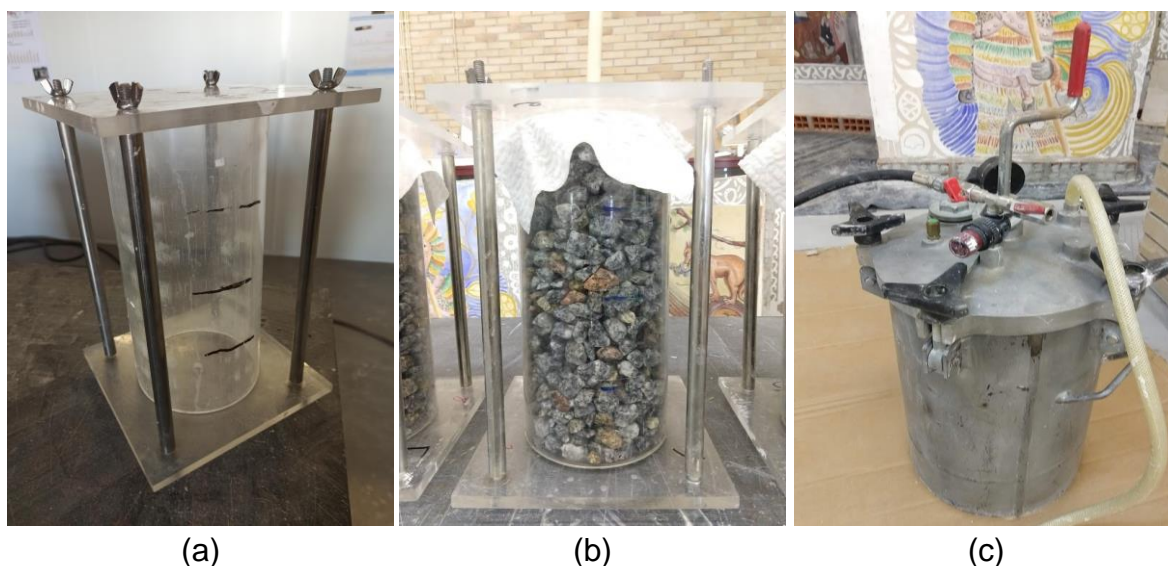


Figura 7: (a) Molde em acrílico; (b) Molde preenchido com granito; (c) Panela de injeção utilizada no ensaio.

O tempo começou a ser registrado a partir da liberação do fluxo de calda no interior do cilindro, sendo registrados os tempos de enchimento referente às frações de 25%, 50%, 75% e 100% do cilindro.

Foram realizados o preenchimento de quatro corpos de prova cilíndricos para cada calda, com a água na temperatura de 20°C. Após 7 dias os cilindros foram desmoldados e inseridos na câmara úmida até o tempo de 28 dias, quando foram submetidos ao ensaio de compressão uniaxial, conforme descrito no item 4.4.4.

4.3.4. Execução dos corpos de prova prismáticos

A execução dos corpos de prova prismáticos se deu segundo as normas ABNT NBR 5738 (2015) [53] e NP EN 196-1 (2017) [54], mas de forma adaptada, uma vez que estas normas se referem ao concreto e argamassas, respectivamente. As formas, conforme descrevem as normas, são metálicas, com dimensões (160x40x40) mm. Antes do preenchimento foi aplicado uma fina camada de óleo descofrante.

Mantendo as formas niveladas sobre a bancada, verteu-se a calda em apenas uma fase, de modo a preencher todo o molde. O preenchimento em

apenas uma fase decorreu visto que o material possui uma fluidez bastante superior às argamassas, material estudado nas normas anteriormente citadas.

Foram realizados 12 corpos de prova prismáticos para cada uma das caldas, com água à temperatura de 20°C. Estes corpos de prova foram desmoldados após 48 horas da amassadura, em seguida foram referenciados (Figura 8) e colocados em câmara úmida, com umidade relativa de pelo menos 95% e temperatura entre 21°C e 25°C, conforme indicado pela ABNT NBR 9479 (2006) [55].

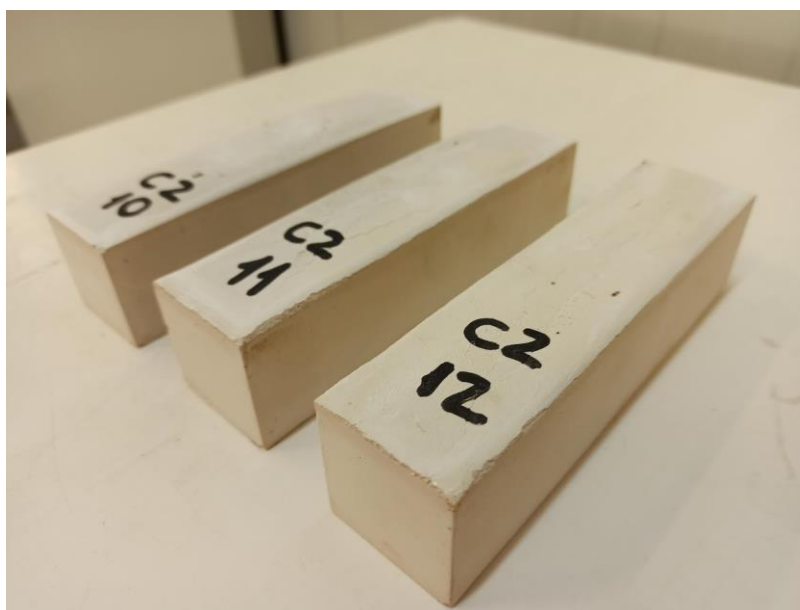


Figura 8: Corpos de prova desmoldados e referenciados.

4.3.5. Execução dos corpos de prova para ensaio de aderência

Neste ensaio pretendeu-se analisar a capacidade de aderência das diversas caldas a um suporte de pedra de granito. Pela ausência de norma que determine a metodologia do ensaio, foi utilizada a metodologia testada por Luso [4]. Foram realizados 6 corpos de prova para cada calda com água à temperatura de 20°C. Os moldes foram feitos a partir de tiras feitas com lâminas de acetato, com dimensões aproximadas de 20 cm de comprimento por 2 cm de altura, e com marcação em uma altura de 1,5 cm (marcação em vermelho) para padronização dos corpos de prova. Com esta lâmina envolveu-se um molde cilíndrico de 50 milímetros de diâmetro e fixou-se as pontas da lâmina com fita

adesiva. A seguir, o molde de acetato foi unido ao suporte rochoso através da aplicação de cola termofundível (Figura 9).

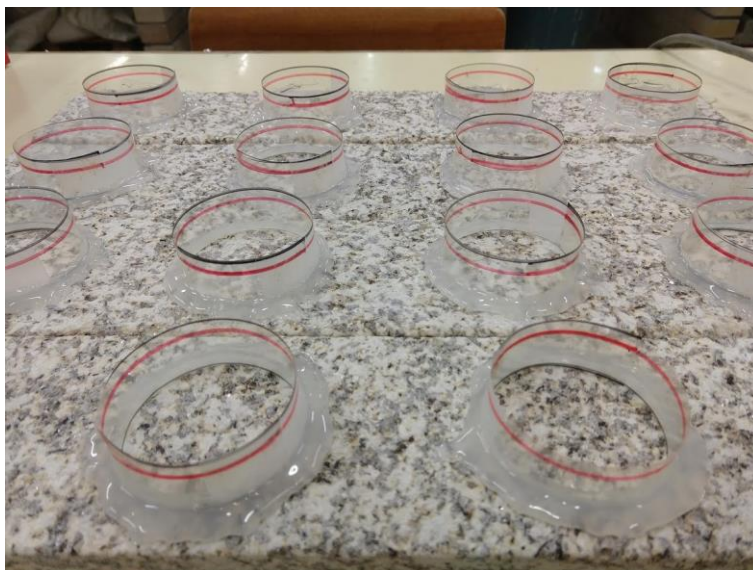


Figura 9: Molde dos corpos de prova para ensaio de aderência.

Após a fixação dos moldes no suporte rochoso, o conjunto foi levado à câmara úmida por 7 dias, até o momento da execução das caldas, conforme o item 4.2. Foi realizado o preenchimento dos moldes com a calda até a marcação em vermelho. Dois dias após a execução, os corpos de prova foram levados à câmara úmida e mantidos até 28 e 90 dias após a amassadura, sendo retirados somente para a realização dos ensaios (Figura 10).



Figura 10: Corpos de prova retirados da câmara úmida para realização de ensaio.

4.4. Caracterização das caldas - ensaios em estado endurecido

4.4.1. Determinação da resistência mecânica à flexão

Para a determinação da resistência mecânica à flexão, os corpos de prova prismáticos foram submetidos ao ensaio descrito em NP EN 196-1 (2017) [54]. O equipamento utilizado neste ensaio encontra-se no Laboratório de Resistência dos Materiais do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), e é do modelo AGS-X, fabricado pela empresa Shimadzu. Foram submetidos aos ensaios 3 corpos de prova de cada calda para cada idade: 28, 90 e 180 dias.

Inicialmente, foram posicionados os apoios cilíndricos com uma distância de 100 milímetros, conforme recomendado pela norma acima citada. A velocidade de aplicação da força foi estabelecida em 50 N/s, também como recomenda a norma. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados no equipamento, de forma que o centro da peça esteja alinhado com o rolete de aplicação da carga, conforme representa a Figura 11 e a Figura 12.

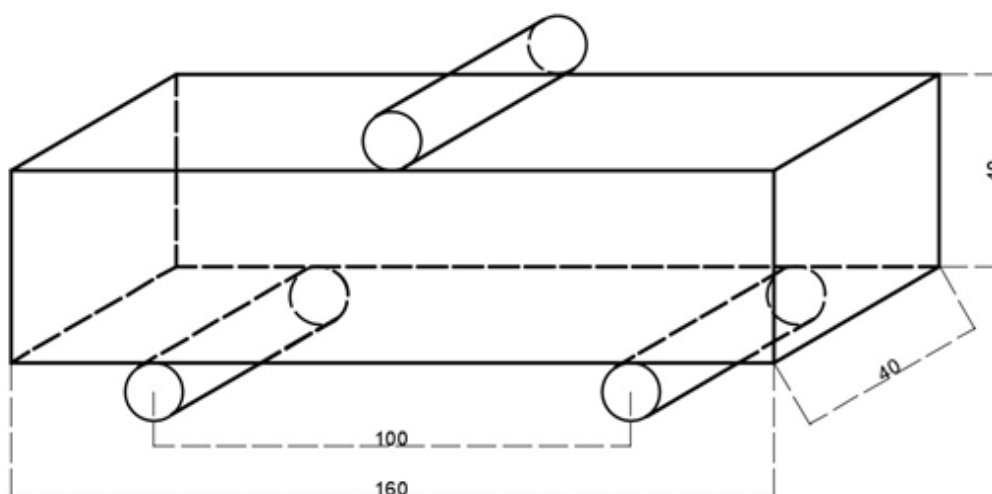


Figura 11: Dimensões do corpo de prova e posicionamento dos cilindros.

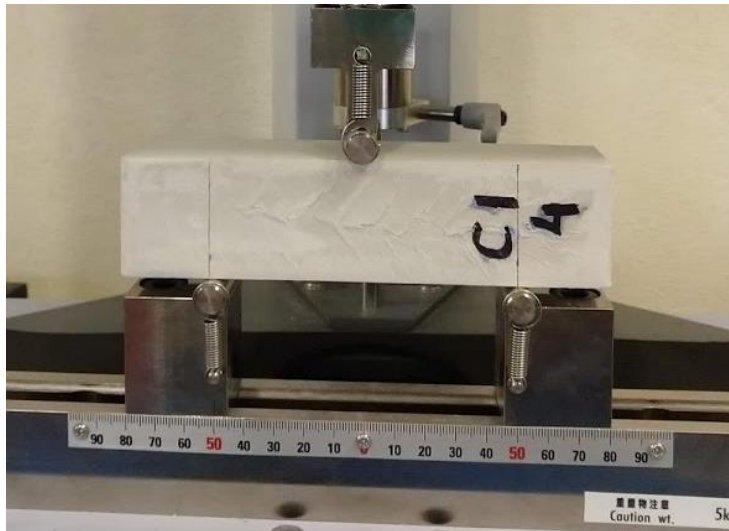


Figura 12: Corpo de prova posicionado no equipamento para realização do ensaio de resistência à flexão.

Por fim, para a determinação da resistência à flexão dos corpos de prova ensaiados, os resultados obtidos foram aplicados à Equação (3).

$$f_{cf} = \frac{3.F.I}{2.d_1.d_2^2} \quad (3)$$

Onde:

f_{cf} é a resistência à flexão, expressa em MPa;

F é a carga máxima, expressa em N;

I é a distância entre os roletes inferiores de apoio, expressa em mm;

d_1 e d_2 são as dimensões laterais do corpo de prova, expressas em mm.

4.4.2. Determinação da resistência mecânica à compressão

A avaliação da resistência à compressão foi realizada conforme a norma NP EN 445 (2008) [17], que indica que o ensaio deve ser executado em conformidade com a norma NP EN 196-1 (2017) [54]. Os corpos de prova utilizados para este ensaio foram os “meio prismas”, resultantes do ensaio de flexão, visto que não houve danos em suas extremidades e seu formato se aproxima do formato descrito na normativa. Portanto, foram utilizados 6 corpos de prova por calda, para cada idade ensaiada.

Inicialmente, os corpos de prova foram posicionados no equipamento, uma prensa hidráulica fabricada pela Matest e disponibilizada pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPB, e foram submetidos à esforços de compressão uniaxial (Figura 13) com carregamento controlado até que fosse observado o rompimento.

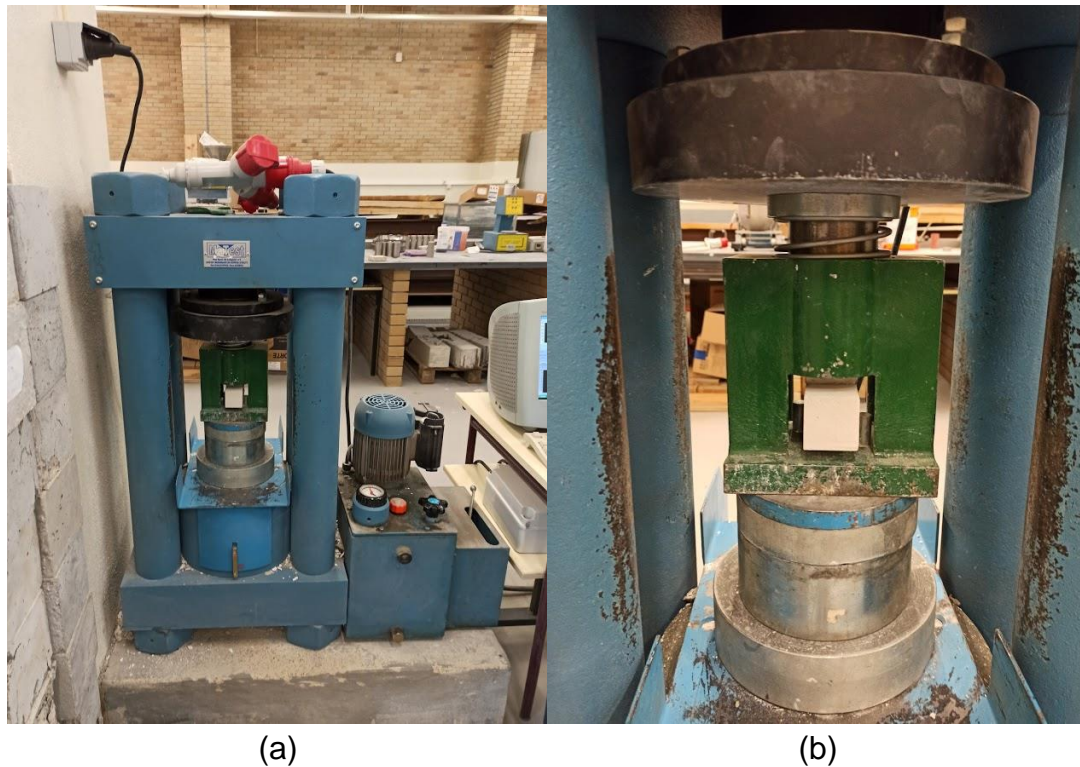


Figura 13: (a) Corpo de prova prismático sendo submetido ao ensaio de compressão. (b) Imagem aproximada.

Com os valores de carga máximos obtidos pelo ensaio, e através da Equação (4), pode-se determinar a equação de ruptura dos materiais.

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (4)$$

Onde

R_c é a resistência à compressão, expressa em MPa;

F_c é a força de ruptura, expressa em N;

A é a área do corpo de prova, expressa em mm².

Para a verificação da evolução da resistência das caldas, o ensaio foi realizado com os corpos de prova nas idades de 28, 90 e 180 dias.

4.4.3. Determinação da aderência em suporte pétreo

A norma utilizada para a determinação da aderência em suporte pétreo foi a ASTM C1072 (2013), sendo realizadas as adaptações necessárias. A escolha desta norma deve-se à ausência de normas específicas à determinação da aderência entre caldas e suportes pétreos.

O ensaio de aderência em suporte pétreo foi realizado com os corpos de prova descritos no tópico 4.3.5. Os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e desmoldados. Para uma melhor aderência, as faces superiores dos corpos de prova foram regularizadas com uma lixa, uma vez que alguns corpos de prova não apresentavam superfície plana (Figura 14).



Figura 14: Regularização da superfície superior do corpo de prova para ensaio de aderência.

Em seguida, foram coladas pastilhas metálicas de 50 mm de diâmetro e 20 mm de altura nos corpos de prova, utilizando o produto Icosit® K-101 N (uma cola epóxi estrutural em dois componentes da marca Sika), exposto na Figura 15. Esta pastilha metálica possui uma rosca centrada na face superior para a fixação do equipamento para o ensaio de tração.



Figura 15: (a) Cola bicomponente. (b) Aplicação da cola bicomponente nos corpos de prova.

Durante o desmolde para as duas idades (28 e 90 dias), alguns corpos de prova sofreram pequenas desintegrações (Figura 16), mas ainda assim foram ensaiados.



Figura 16: Exemplos de corpos de prova que sofreram pequenas desintegrações ao desmoldar nas idades de (a) 28 dias e (b) 90 dias.

Para a determinação da aderência, os corpos de prova foram submetidos aos esforços de tração utilizando o equipamento AGS-X, fabricado pela Shimadzu, disponível no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais do IPB. Primeiramente, os corpos de prova foram posicionados em uma

superfície metálica horizontal e fixado à superfície inferior através de grampos. A pastilha foi encaixada na extremidade superior do equipamento através de uma ligação rotulada, com o objetivo de anular quaisquer esforços de momento antes de chegarem à peça (Figura 17).

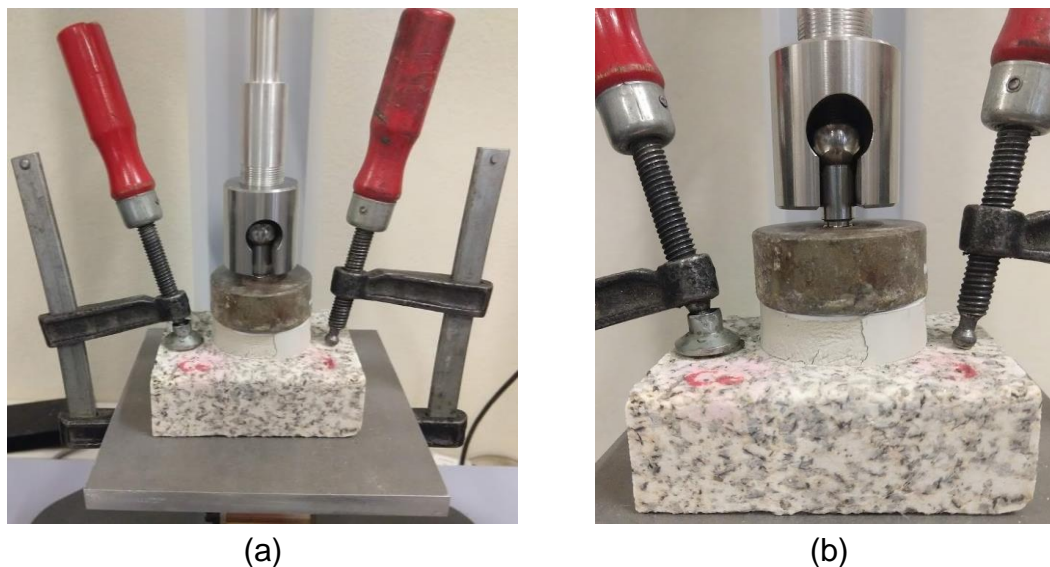


Figura 17: (a) Corpo de prova submetido ao ensaio de aderência. (b) Imagem detalhada.

O equipamento foi configurado de forma a haver uma pré-carga com velocidade de 1 mm/min até que a resistência encontrada fosse igual ou superior à 10 N. Em seguida a velocidade foi reduzida e mantida em 0,12 mm/min até o rompimento. O ensaio foi realizado três vezes para cada calda, com idades de 28 e 90 dias.

Para a determinação da resistência à tração dos corpos de prova, os valores obtidos na ruptura dos corpos de prova foram aplicados na Equação (5).

$$R_a = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Onde:

R_a é a resistência de aderência à tração, expressa em MPa;

F é a força de ruptura, expressa em N;

A é a área da superfície superior do corpo de prova, expressa em mm².

4.4.3.1. Avaliação dos planos de ruptura

A norma ASTM C1583 (2013) [56] apresenta os possíveis planos de ruptura de um ensaio de *pull-off*. De forma adaptada, esses planos podem ser de 5 tipos, representadas na Figura 18 e descritas a seguir:

- Ruptura no substrato: indica que a resistência de aderência é superior à resistência à tração do substrato (Figura 18b);
- Ruptura na interface substrato/calda: é o tipo de ruptura mais desejado. O valor da resistência à aderência é igual ao valor da resistência à tração obtido no ensaio (Figura 18c);
- Ruptura na calda: indica que a resistência à aderência é superior à resistência à tração da calda (Figura 18d);
- Ruptura na interface calda/cola: indica falha na execução da colagem, a resistência à aderência é superior ao valor obtido (Figura 18e);
- Ruptura na interface calda/pastilha: semelhante à ruptura anterior (Figura 18f).

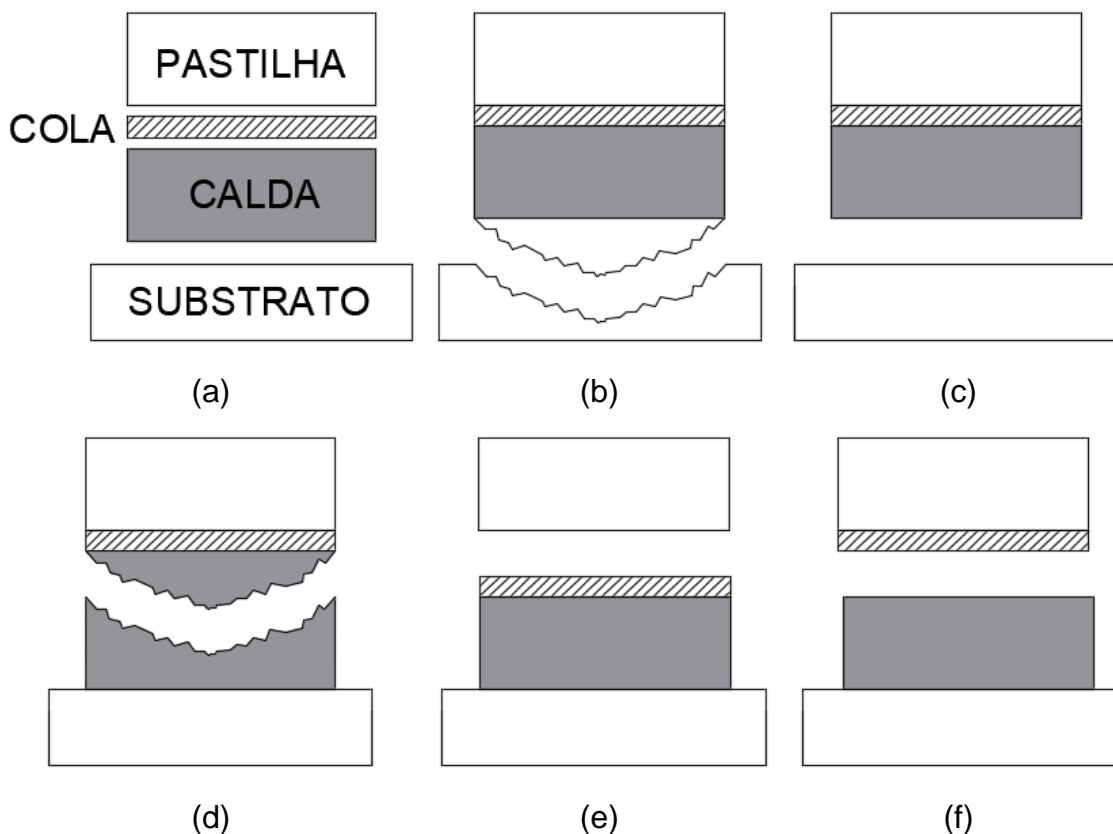


Figura 18: Tipos de ruptura após o ensaio de pull-off. (a) sistema utilizado; (b) ruptura no substrato; (c) ruptura na interface substrato/calda; (d) ruptura na calda; (e) ruptura na interface pastilha/cola; (f) ruptura na interface cola/calda.

4.4.4. Caracterização dos cilindros injetados

O ensaio de injetabilidade, descrito no tópico 4.3.3, resultou em 24 cilindros, sendo 4 cilindros para cada uma das caldas. Todos os cilindros foram submetidos ao ensaio de compressão uniaxial na idade de 28 dias.

4.4.4.1. Determinação da resistência mecânica à compressão

A determinação da resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova resultantes do ensaio de injetabilidade, foi feita de acordo com a NP EN 12390-3 (2009) [57], ainda que esta norma se dedique ao concreto.

Inicialmente, em alguns corpos de prova foram verificadas pequenas irregularidades na superfície devido ao processo de injeção, portanto, estes corpos de prova foram submetidos à retificação da superfície para que não interferisse no ensaio. Em seguida, os corpos de prova foram limpos e tiveram seus pesos medidos.

Posteriormente, os corpos de prova cilíndricos foram posicionados no equipamento da marca Matest, disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPB. A carga foi aplicada de forma uniforme até o rompimento do corpo de prova (Figura 19). Foram obtidos valores máximos da força aplicada. Para a determinação das tensões de ruptura, estes valores foram aplicados na Equação (4).

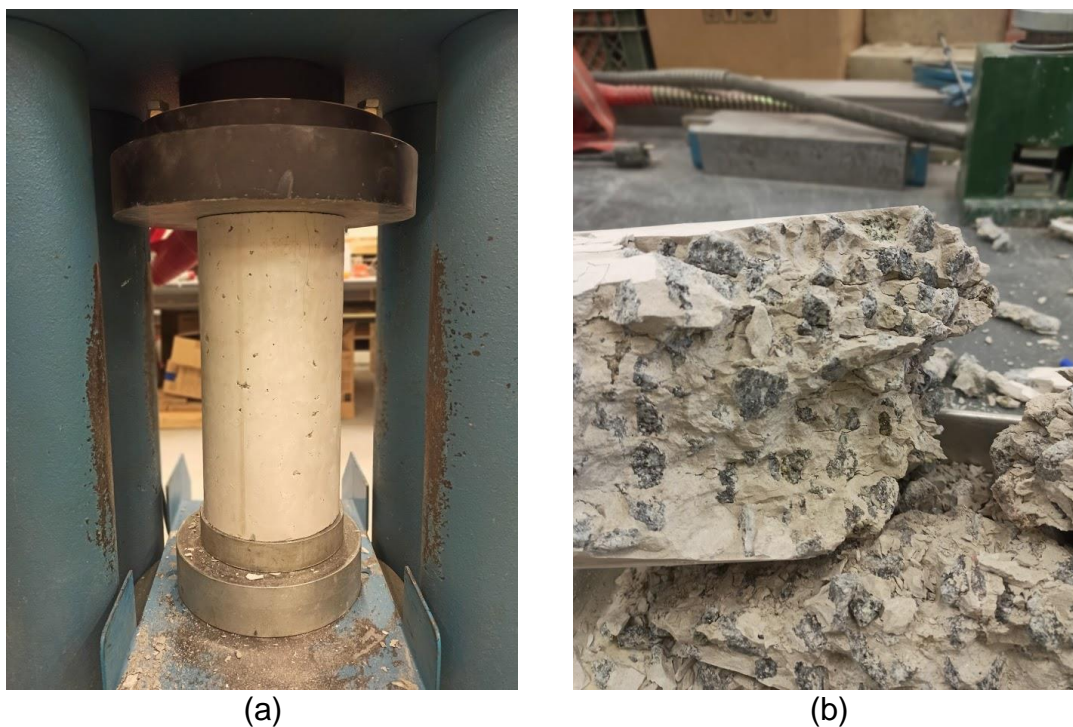


Figura 19: Corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio de compressão. (a) Corpo de prova no equipamento no início do ensaio (b) Interior do corpo de prova após ensaio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ensaios em estado fresco

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos para os ensaios de fluidez, exsudação, expansão e injetabilidade.

5.1.1. Fluidez

O ensaio de fluidez foi realizado 3 vezes logo após o término da mistura da calda e 3 vezes após 30 minutos. A temperatura da água de amassadura foi alternada em 10°C, 20°C e 30°C para cada calda, totalizando 18 caldas diferentes. As médias e desvios-padrão para cada calda estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Valores médios e desvios-padrão para o escoamento de 1 litro de calda em segundos.

Temperatura	Calda	Logo após o término da mistura		30 minutos após o término da mistura	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
10°C	1P	22,40	0,05	27,37	0,79
	2P	20,03	0,90	20,79	1,11
	3P	21,99	1,16	23,87	1,91
	4L	38,36	0,26	42,12	6,23
	5N	50,25	4,59	63,91	9,19
	6L	33,48	1,84	37,86	2,76
20°C	1P	19,94	0,96	29,20	0,30
	2P	18,31	0,27	21,32	0,69
	3P	18,60	0,48	20,24	0,65
	4L	29,38	1,14	35,05	1,51
	5N	39,28	1,35	64,95	4,08
	6L	33,49	5,52	43,63	0,28
30°C	1P	36,19	2,10	70,09	3,75
	2P	24,63	0,56	29,59	1,09
	3P	24,69	1,78	35,07	3,31
	4L	47,80	7,86	75,33	12,21
	5N	58,94	7,13	-	-
	6L	54,59	7,56	90,32	5,58

Nota-se que para a calda 5N com a água na temperatura de 30°C não foi possível obter um resultado, uma vez que o fluxo de calda foi interrompido antes de atingir 1 litro de escoamento.

A comparação entre a fluidez das 6 caldas variando a temperatura está representada na Figura 20 e Figura 21.

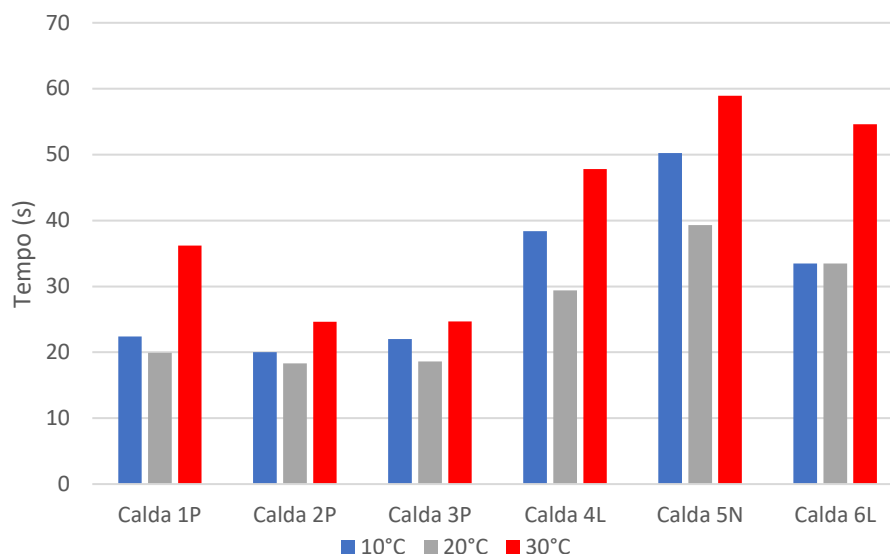


Figura 20: Tempo médio para o escoamento de 1 litro de calda logo após a mistura.

Observa-se que as caldas 1P, 2P e 3P apresentam uma maior fluidez em relação às outras caldas, sendo a calda 5N com menor fluidez.

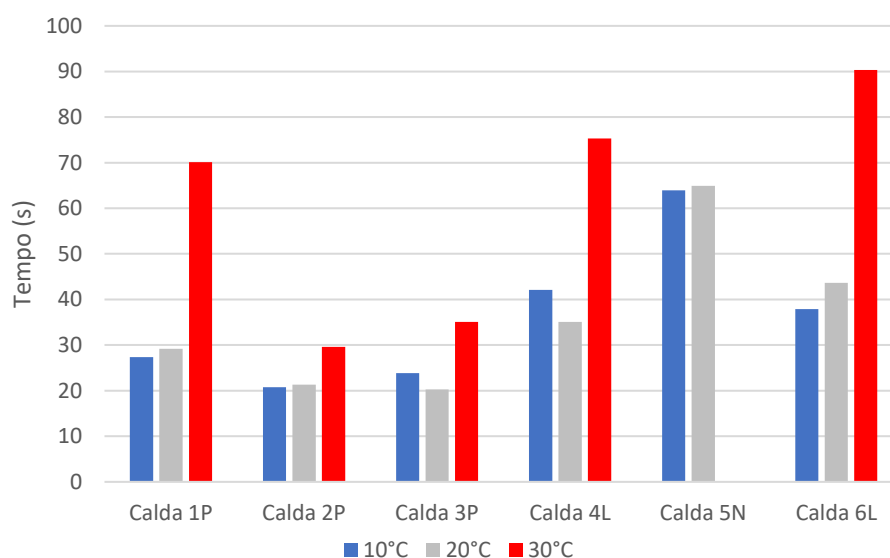


Figura 21: Tempo médio para o escoamento de 1 litro de calda 30 minutos após a mistura.

Entre as temperaturas de 10°C e 20°C houve pouca influência na fluidez, contudo, a elevação da temperatura à 30°C reduziu a fluidez em todas caldas, sendo mais evidente nas caldas 1P, 4L e 6L.

Ao considerar a fluidez após 30 minutos de amassadura (Figura 21), o aumento da temperatura causa uma variação ainda maior no tempo médio de

escoamento, ou seja, há uma redução considerável da fluidez, resultando na não obtenção de um resultado para a calda 5N.

Pode-se relacionar o comportamento logo após a mistura e passados 30 minutos das caldas 4L, 5N e 6L com as características de suas respectivas bases químicas, onde as caldas com base de lignossulfonato apresentam um maior tempo de manutenção, enquanto o naftaleno possui um curto período de manutenção.

Ainda, se comparar com o resultado de 29,8 segundos obtido por Klosowski [29], as caldas com base de policarboxilato estudadas apresentaram um menor tempo de escoamento, aproximadamente 21 segundos.

O ensaio de fluidez através do Cone de Marsh está representado na Figura 22.



Figura 22: Ensaio de fluidez através do Cone de Marsh

5.1.2. Exsudação e expansão

O ensaio apresentado em 4.3.2 foi realizado para as 18 caldas já citadas. Foram realizadas medições a cada 30 minutos durante 2 horas conforme a NBR

7681-3 [52]. Ao aplicar os volumes iniciais, volume de calda + água após 120 minutos e volume somente da calda após 120 minutos na Equação (1) e na Equação (2), são obtidos os índices de expansão (E_{xp}) e exsudação (E_{sd}) para cada calda, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Índices de expansão e exsudação de cada calda.

	10°C		20°C		30°C	
	E_{sd}	E_{xp}	E_{sd}	E_{xp}	E_{sd}	E_{xp}
Calda 1P	0,00%	0,00%	0,53%	0,00%	0,53%	0,53%
Calda 2P	1,05%	0,00%	0,53%	0,00%	0,00%	0,00%
Calda 3P	1,05%	0,00%	1,05%	1,05%	1,05%	0,00%
Calda 4L	1,05%	0,00%	1,05%	1,05%	1,05%	1,05%
Calda 5N	1,05%	1,05%	0,53%	0,53%	0,00%	0,00%
Calda 6L	0,00%	1,05%	1,05%	1,05%	0,00%	0,00%

Não se verifica um padrão de alteração de exsudação e expansão em função da base química do plastificante utilizado e da variação da temperatura. Porém, para as caldas de terceira geração, nota-se uma semelhança com os resultados obtidos por Klosowski [29].

Ainda, é possível observar que todas as caldas não ultrapassam o limite máximo de 2% de exsudação indicado pela NP EN 447 [19]. Ainda, verifica-se que todas as caldas sofreram leves expansões, portanto, não ultrapassam o valor máximo de 4% de retração indicado por Luso e Tavares [4], [7].

5.1.3. Injetabilidade

Foram realizados 4 ensaios de injetabilidade para cada calda. O resultado médio obtido para cada uma das 6 caldas está apresentado na Tabela 7. Os valores indicam o tempo de enchimento para cada quarto do cilindro, sendo as alturas de 7,5 cm, 15 cm, 22,5 cm e 30 cm.

Tabela 7: Resultados médios obtidos para o tempo de injeção dos cilindros em segundos.

CALDA	ALTURA (cm)			
	7,5	15	22,5	30
1P	33,31	75,21	122,09	180,56
2P	8,06	16,78	26,78	38,26
3P	6,49	14,29	22,53	32,07
4L	27,98	63,20	102,45	144,85
5N	31,48	68,62	115,08	169,15
6L	22,25	45,00	72,61	107,91

O tempo total médio de injeção para cada uma das caldas está apresentado na Figura 23.

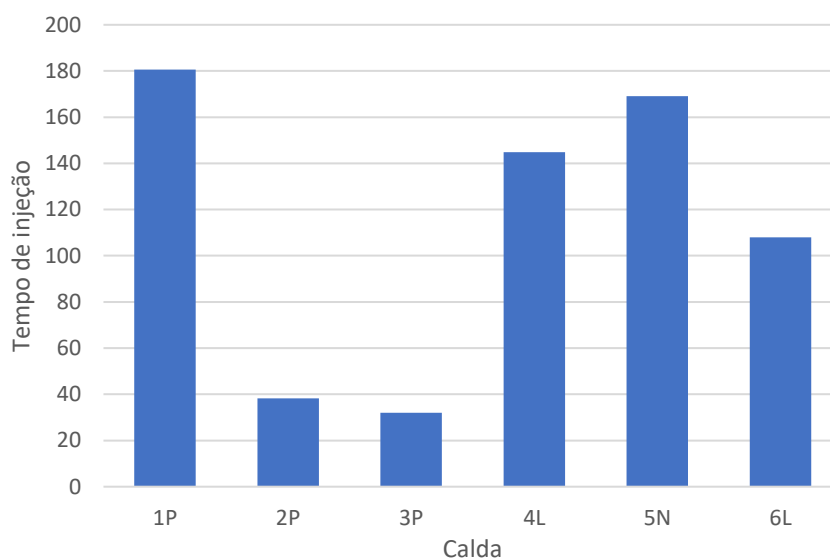


Figura 23: Tempo total médio de injeção para cada calda.

Nota-se que as caldas 2P e 3P obtiveram um tempo de injeção bastante inferior aos demais, enquanto a calda 1P é a que apresenta o maior tempo. Ressalta-se que não houve grande variação no índice de vazios dos cilindros posteriormente à injeção, conforme será apresentado no tópico 5.2.5.1.

Na Figura 24 pode ver-se a representação do enchimento de cada quarto do cilindro de injeção durante o ensaio de injetabilidade.



Figura 24: Ensaio de injetabilidade da calda 1P.

Ao comparar o resultado obtido com os resultados de fluidez para a temperatura de 20°C apresentados no item 5.1.1, e ainda, sabendo que as caldas 1P, 2P e 3P possuem aditivos da mesma geração, o resultado torna-se

inconclusivo, uma vez que as caldas apresentam fluidez semelhante e uma grande variação na injetabilidade. Esta grande diferença do tempo total de injeção para a calda 1P pode ser em decorrência de uma má disposição do granito no interior do cilindro, que pode ter como resultado uma pequena obstrução do orifício inferior do cilindro, reduzindo o fluxo da calda.

5.2. Ensaio em estado endurecido

Nesta seção, serão apresentados os valores de massa específica para cada calda, resultados obtidos para os ensaios de flexão e compressão dos corpos de prova prismáticos, bem como resultados de aderência em suporte pétreo e compressão dos cilindros de injeção.

5.2.1. Massa específica

Inicialmente os corpos de prova prismáticos descritos em 4.3.4 foram pesados e tiveram suas dimensões medidas com um paquímetro digital. Assim, foi possível determinar um volume e um peso médio para cada calda, e, com isso, determinou-se a respectiva massa específica, que está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Volume, peso e massa específica médios dos corpos de prova prismáticos.

Calda	Volume (cm³)	Peso (g)	Massa específica (g/cm³)
1P	259,11	420,89	1,62
2P	255,83	422,49	1,65
3P	255,26	423,62	1,66
4L	256,12	424,45	1,66
5N	255,79	419,82	1,64
6L	259,87	422,98	1,63

Nota-se que não houve grande diferença nas massas específicas entre as caldas.

5.2.2. Resistência mecânica à flexão

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados nas idades de 28, 90 e 180 dias. Os valores médios e desvios-padrão estão expostos na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9: Valores médios e desvios-padrão de tensão de ruptura à flexão.

	28 dias		90 dias		180 dias	
	F_{cf} (MPa)	S (MPa)	F_{cf} (MPa)	S (MPa)	F_{cf} (MPa)	S (MPa)
Calda 1P	3,95	0,62	3,66	0,40	5,68	1,17
Calda 2P	3,78	0,72	4,54	0,51	6,44	1,07
Calda 3P	3,36	0,65	4,03	0,66	6,09	1,40
Calda 4L	3,02	0,12	2,81	0,44	5,38	1,00
Calda 5N	2,69	0,56	3,55	0,51	4,48	0,28
Calda 6L	3,06	0,27	3,63	0,45	5,69	0,72

F_{cf} – Tensão média de ruptura à flexão (MPa)

S – Desvio-padrão da tensão média de ruptura à flexão (MPa)

Nota-se que, aos 28 dias de cura, a Calda 1P foi a que apresentou uma maior resistência, enquanto a Calda 5N apresentou uma menor resistência, cerca de 68% da resistência da Calda 1.

Na Figura 25, nota-se que, entre as idades de 28 e 90 dias, houve uma redução de resistência das caldas 1P e 4L de 0,29 MPa e 0,21 MPa, respectivamente. A calda 5N foi a que apresentou um maior ganho de resistência, 0,86 MPa. Esta redução pode ter ocorrido por diversos fatores, principalmente pelo fato de que há poucos corpos de prova ensaiados, resultando numa maior variação. Ainda, pode ter ocorrido falhas durante a execução do ensaio, como por exemplo um mau posicionamento do corpo de prova no equipamento.

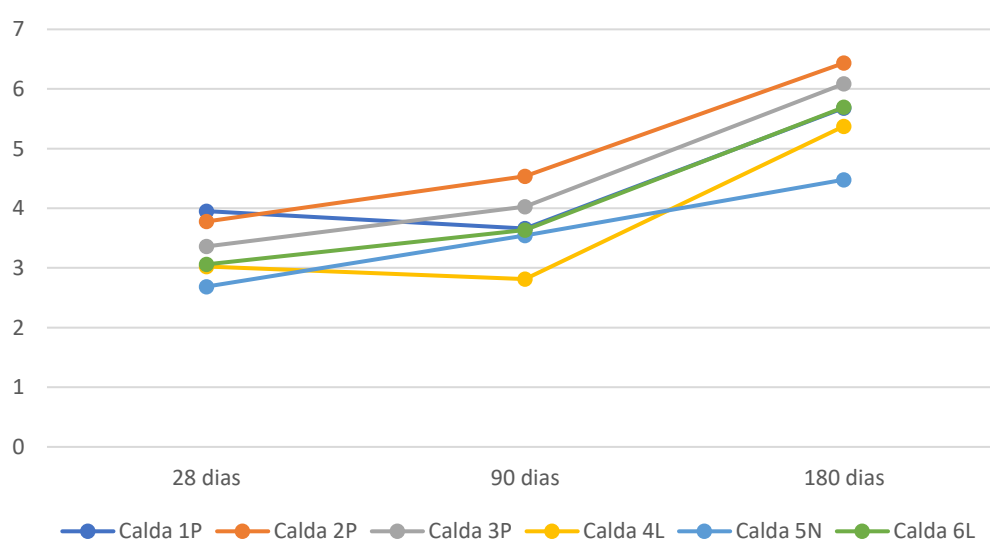


Figura 25: Tensão média de ruptura à flexão nas idades de 28, 90 e 180 dias.

Ao analisar a evolução das caldas entre as idades de 90 e 180 dias, observa-se que, de maneira oposta ao que ocorreu no primeiro período, a calda 5N foi a que apresentou um menor ganho de resistência, apenas 0,93 MPa, enquanto as outras apresentaram um ganho de aproximadamente 2 MPa cada.

Comparativamente com os resultados obtidos por Klosowski [29], apresentado no item 4.1, observou-se para a idade de 28 dias uma tensão de ruptura à flexão de 2,64 MPa, todas as caldas aqui estudadas apresentam uma maior resistência à flexão, chegando a um aumento de 50%. Já para a idade de 90 dias, nota-se que a Calda 4L é a única que apresenta uma resistência abaixo do apresentado [29].

Ao comparar estes resultados com os resultados obtidos por Abrantes [10] para caldas à base de cal aérea, onde determinou-se uma resistência máxima de 0,62 MPa, nota-se a superioridade das caldas à base de cal hidráulica em relação ao ganho de resistência.

Ao observar a Figura 25, nota-se que, para todas as idades, as caldas com base policarboxilato apresentaram uma maior resistência à flexão, em seguida as caldas com base lignossulfonato e, por fim, a calda com base naftaleno foi a que apresentou a pior resistência à flexão.

Durante os ensaios, observou-se que as rupturas dos corpos de prova prismáticos ocorreram todas dentro do terço médio, com fraturas praticamente verticais, conforme demonstra a Figura 26. Este fato indica que houve boa distribuição de tensões na peça em decorrência de uma boa homogeneidade, uma vez que o centro da peça concentra os maiores esforços de flexão.

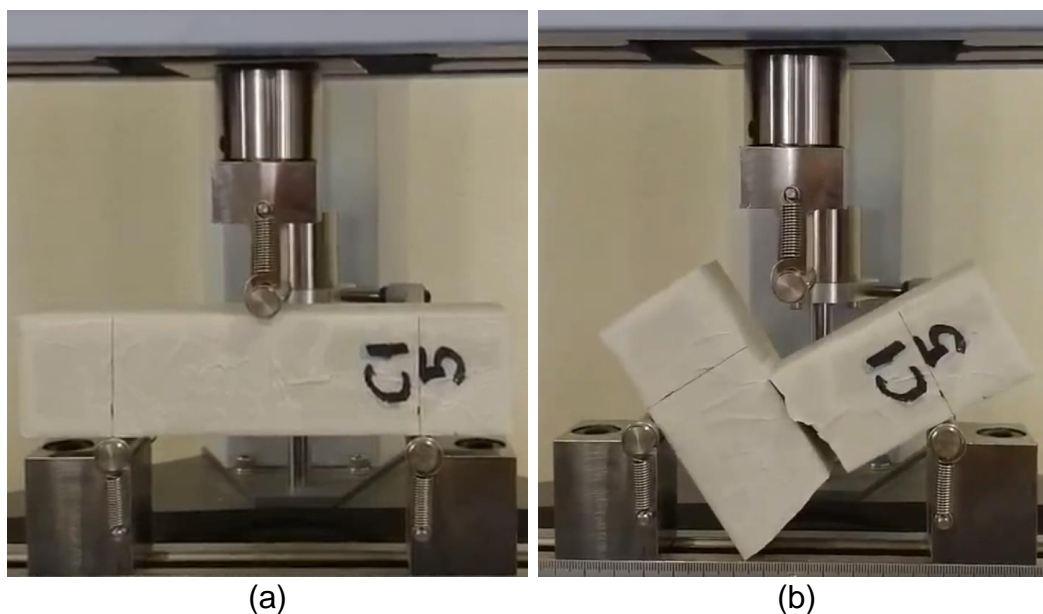


Figura 26: Corpo de prova submetido ao ensaio de resistência à flexão.

5.2.3. Resistência mecânica à compressão

Na Tabela 10 estão dispostos os valores de tensão média de ruptura à compressão e os desvios-padrão nas idades de 28, 90 e 180 dias, e ainda, estes valores estão representados na Figura 27.

Tabela 10: Valores médios e desvios-padrão de tensão de ruptura à compressão.

	28 dias		90 dias		180 dias	
	F_{cf} (MPa)	S (MPa)	F_{cf} (MPa)	S (MPa)	F_{cf} (MPa)	S (MPa)
Calda 1P	12,91	0,59	17,64	0,46	21,55	2,11
Calda 2P	13,48	0,81	17,80	1,92	22,87	3,12
Calda 3P	13,15	1,44	18,20	0,49	24,47	1,71
Calda 4L	13,59	0,74	18,21	1,59	24,97	1,98
Calda 5N	13,13	1,23	18,46	0,61	22,65	0,87
Calda 6L	11,68	0,88	17,82	0,80	22,10	1,31

F_{cf} – Tensão média de ruptura à compressão (MPa)

S – Desvio-padrão da tensão média de ruptura à compressão (MPa)

Na idade de 28 dias, todas as caldas apresentaram valores próximos. Já na idade de 90 dias, todas as caldas apresentaram resistências bastante semelhantes, com uma variação de apenas 1,7% entre elas.

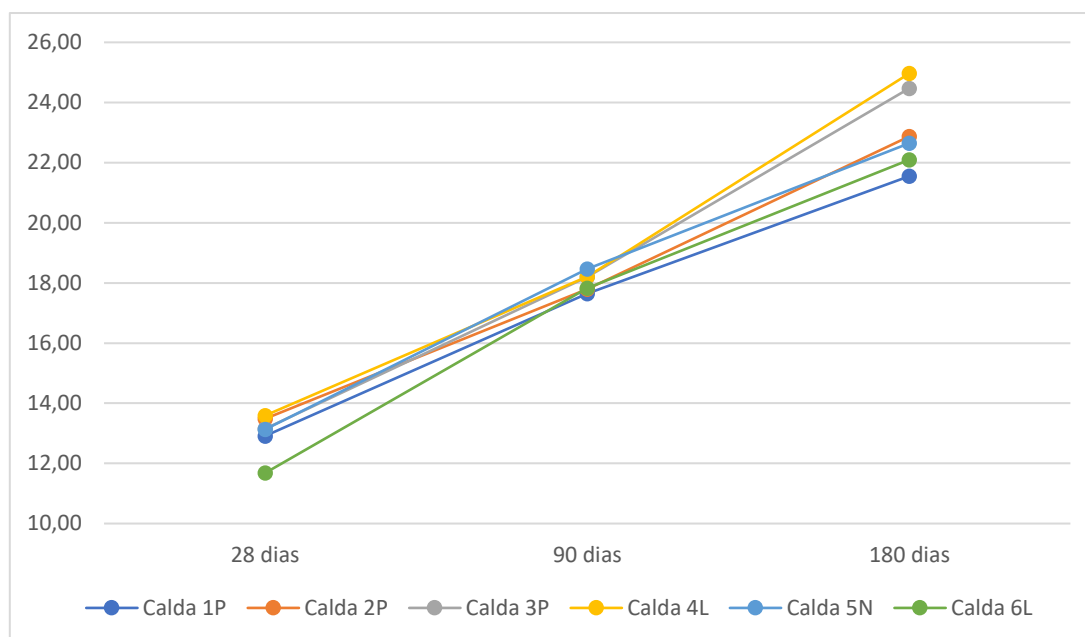


Figura 27: Tensão média de ruptura à compressão nas idades de 28, 90 e 180 dias.

Aos 180 dias é possível notar uma maior diferença entre as resistências, uma vez que as caldas 3P e 4L apresentam uma maior resistência se comparadas às outras caldas, cerca de 2 MPa a mais que a média das caldas restantes. Estes resultados podem ser verificados na Figura 27.

Diferentemente do comportamento das caldas na resistência à flexão, em que é possível observar a superioridade das caldas com base de policarboxilato, para a resistência à compressão não é possível relacionar a diferença da resistência com a base química do plastificante utilizado.

As taxas de crescimento diário da resistência das caldas 2P, 3P e 4L, nos períodos correspondentes entre as idades de 28 e 90 dias, e 90 e 180 dias, são bastante semelhantes, uma média de 0,7 MPa por dia. Em contrapartida, a taxa de crescimento diário da resistência das caldas 1P, 5N, e 6L no período entre 90 e 180 dias é cerca de metade da taxa de crescimento diária no período entre 28 e 90 dias.

A calda com o maior aumento de resistência correspondente entre as idades de 28 e 90 dias é a calda 6L, com um aumento de 89,2%, enquanto a calda 1P foi a que apresentou um menor crescimento, de 66,9%.

A ruptura da maioria dos corpos de prova ensaiados se aproximou do formato cônico, conforme mostrado na Figura 28. Este formato indica uma boa homogeneização dos materiais durante o processo de mistura e que se mantiveram estáveis durante a cura. Assim, houve uma boa distribuição das tensões aplicadas.



Figura 28: Corpos de prova rompidos por compressão uniaxial. (a) Corpo de prova da calda 4L; (b) Corpo de prova da calda 3.

Ao comparar os resultados obtidos neste ensaio com os resultados obtidos por Klosowski [29], onde a resistência à compressão para uma calda semelhante é de 11,37 MPa aos 28 dias e 16,11 MPa aos 90 dias, tem-se que todas as caldas deste estudo superaram estas resistências em suas respectivas idades.

Comparativamente com a cal aérea, Abrantes [10] obteve um valor máximo de 0,87 MPa em caldas com adição de metacaulino. O fato de a calda à base de cal aérea apresentar somente 7,45% da resistência da calda 6L, demonstra que caldas à base de cal hidráulica apresenta uma maior capacidade de adquirir resistências consideráveis.

Verifica-se ainda o limite máximo apresentado por Tavares [7], onde a resistência de compressão das caldas devem ser de até 60% da resistência do substrato. A resistência à compressão do granito amarelo é de aproximadamente 35 MPa [29], conclui-se então que o limite máximo para as caldas é de 21 MPa. Até a idade de 90 dias, todas as caldas respeitaram este limite, contudo, na idade de 180 dias constata-se que todas as caldas excederam o limite proposto.

As caldas 1P e 6L são as que mais se aproximaram deste limite, estão acima somente 2,6% e 5,2%, respectivamente. As caldas 3P e 4L são as que mais excederam o limite proposto, estando 16,5% e 18,9% acima, respectivamente. Sendo assim, não é possível afirmar qual aditivo plastificante resulta numa melhor resistência à compressão, uma vez que caldas compostas por aditivos com a mesma base química possuem valores consideravelmente diferentes.

5.2.4. Aderência em suporte pétreo

Aos 28 dias, somente a Calda 2P não apresentou fissuras. Porém, aos 90 dias esta calda também passou a apresentar fissuras. Nestas duas idades, as fissuras ocasionaram a desintegração de pequenas partes das amostras durante a etapa de regularização da superfície, conforme exposto no item 4.3.5. Contudo, estas amostras foram ensaiadas da mesma forma que as restantes, e, no fim, não foram notadas alterações nos resultados obtidos.

Foram retiradas do ensaio apenas uma amostra da Calda 1P aos 28 dias e uma amostra da Calda 2P aos 90 dias, uma vez que estes corpos de prova apresentaram uma maior desintegração, podendo ocasionar um comprometimento dos resultados. Ainda, por falhas na execução do ensaio, outras duas amostras não foram ensaiadas: uma amostra da Calda 2P na idade de 28 dias e uma amostra da Calda 1P aos 90 dias.

Os valores médios de tensão de ruptura à tração das 6 caldas estudadas, bem como seu desvio padrão e o número de amostras ensaiadas estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores médios de tensão de ruptura à tração, desvios-padrão e número de amostras ensaiadas.

	28 dias			90 dias		
	Fcf (MPa)	S (MPa)	N	Fcf (MPa)	S (MPa)	N
Calda 1P	0,25	0,01	2	0,23	0,04	2
Calda 2P	0,18	0,03	2	0,28	0,04	2
Calda 3P	0,48	0,15	3	0,46	0,12	3
Calda 4L	0,29	0,04	3	0,32	0,09	3
Calda 5N	0,28	0,07	3	0,49	0,12	3
Calda 6L	0,27	0,05	3	0,37	0,03	3

Nota-se que a Calda 3P foi a que obteve uma maior resistência aos 28 dias, até 2,6 vezes maior que outra calda. Já aos 90 dias, a calda que obteve maior resistência foi a Calda 5N, com um aumento de 0,21 MPa em relação à idade de 28 dias.

Os valores médios de tensão de ruptura à tração estão representados na Figura 29.

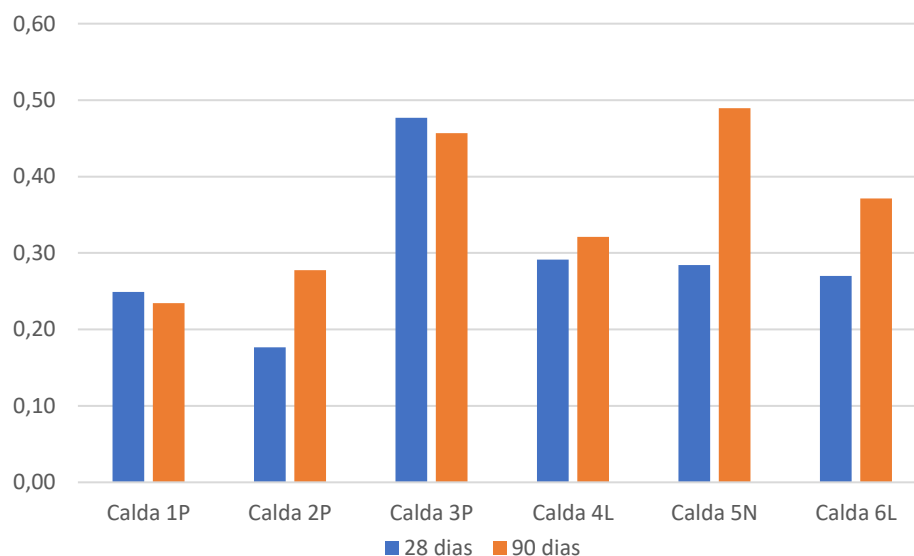


Figura 29: Valores médios de tensão de ruptura à tração aos 28 e 90 dias.

É possível verificar que as caldas 1P e 3P sofreram uma pequena redução na resistência no período entre 28 e 90 dias. Assim como a redução que ocorreu com algumas caldas na resistência à flexão, pode-se justificar este acontecimento devido à pouca quantidade de amostras ensaiadas.

Ainda que as caldas 1P, 2P e 3P possuam a mesma base química, é notória a diferença entre as resistências obtidas nas duas idades. Portanto, não é possível relacionar à resistência à aderência ao suporte pétreo com o tipo de plastificante utilizado, assim como já foi observado em outros resultados anteriormente.

5.2.4.1. Avaliação dos planos de ruptura

Nos ensaios realizados aos 28 dias, todas as caldas apresentaram plano de ruptura na interface substrato/calda (Figura 30a), exceto a calda 4L. A calda 4L apresentou um falha mista entre o substrato e a calda, pois foi possível

observar pequenos fragmentos do granito na calda, conforme apresentado pela Figura 30b.



Figura 30: Exemplos de corpos de prova ensaiados aos 28 dias. (a) Corpo de prova da Calda 2 com falha na interface substrato/calda. (b) Corpo de prova da Calda 4 com falha mista, apresentando pequenos fragmentos de granito aderidos à calda.

Aos 90 dias pode-se constatar a presença de fragmentos relativamente maiores de granito em corpos de prova das caldas 1P, 3P e 6L, quando comparado com os resultados obtidos aos 28 dias. Este resultado pode ser visto na Figura 31.



Figura 31: Corpo de prova da calda 6 ensaiado aos 90 dias.

Não foi observada ruptura da calda em nenhuma das amostras ensaiadas, o que indica que a resistência à tração do material é altamente superior à aderência entre a calda e o substrato.

5.2.5. Caracterização dos cilindros injetados

5.2.5.1. Dimensões, massa e massa específica

Após 28 dias, os corpos de prova provenientes do ensaio de injetabilidade (Figura 32) foram pesados e aferidos com um paquímetro digital. Em seguida, as massas foram divididas pelos volumes de cada corpo de prova, com o objetivo de determinar as massas específicas de cada um, expostos na Tabela 12.

Tabela 12: Massas, dimensões e massas específicas dos cilindros de injeção.

		Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume (l)	Massa (kg)	Massa específica (Kg/m³)
Calda 1P	1	144,02	298,59	4,86	10,66	2192,24
	2	143,48	298,48	4,83	10,72	2220,88
	3	143,60	298,66	4,84	10,68	2207,28
	4	143,17	297,76	4,79	10,67	2225,93
Calda 2P	1	143,56	297,26	4,81	10,50	2182,19
	2	144,08	297,29	4,86	10,63	2184,45
	3	144,11	298,35	4,86	10,66	2194,98
	4	143,72	297,77	4,83	10,49	2171,86
Calda 3P	1	144,66	297,87	4,90	10,59	2162,33
	2	143,52	298,88	4,84	10,57	2186,40
	3	143,76	297,81	4,83	10,59	2190,97
	4	144,40	298,11	4,88	10,49	2148,41
Calda 4L	1	143,68	297,23	4,82	10,25	2127,30
	2	144,23	298,76	4,88	10,66	2183,19
	3	144,10	298,09	4,86	10,71	2202,45
	4	143,65	297,05	4,81	10,57	2194,79
Calda 5N	1	144,16	298,30	4,87	10,68	2192,77
	2	143,47	297,16	4,80	10,65	2215,89
	3	143,88	297,88	4,84	10,68	2204,97
	4	143,23	298,15	4,80	10,30	2144,97
Calda 6L	1	144,39	298,61	4,89	10,57	2161,59
	2	143,93	297,36	4,84	10,46	2162,50
	3	143,86	297,42	4,83	10,68	2209,99
	4	144,07	298,18	4,86	10,63	2186,56



Figura 32: Cilindros resultantes do ensaio de injetabilidade.

Através do volume total do cilindro, juntamente com a massa unitária em condição saturado superfície seca do agregado (uma vez que este agregado estava em câmara úmida com umidade próxima dos 95%) e a massa específica de cada calda em estado endurecido, é possível determinar o volume de brita e volume de calda contidos no cilindro. Os valores médios obtidos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Valores médios de massas e volumes.

Calda	Massa de brita (kg)	Massa de calda (kg)	Volume total do cilindro (l)	Volume de brita (l)	Volume de calda (l)
1P	7,04	3,65	4,83	2,67	2,24
2P	7,09	3,48	4,84	2,69	2,10
3P	7,25	3,31	4,86	2,75	1,99
4L	7,21	3,33	4,84	2,74	2,01
5N	7,25	3,33	4,83	2,75	2,03
6L	7,12	3,47	4,86	2,70	2,13

Com os resultados obtidos para volume total do cilindro e volume de brita, é possível determinar o índice de vazios que o cilindro apresentava após a inserção da brita no seu interior. Ainda, sabendo o volume de calda injetado, pode-se determinar a porcentagem de calda que foi injetada durante o ensaio, e, assim, pode-se determinar teoricamente o índice de vazios resultante após a injeção. Estes valores calculados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Índices de vazios e porcentagem de calda injetada.

Calda	Índice de vazios antes da injeção	Porcentagem de calda injetada	Índice de vazios após a injeção
1P	44,75%	46,48%	-1,72%
2P	44,42%	43,48%	0,94%
3P	43,44%	41,03%	2,41%
4L	43,54%	41,53%	2,00%
5N	43,07%	41,96%	1,11%
6L	44,39%	43,87%	0,52%

Nota-se na Tabela 14 que, anteriormente à injeção, o índice de vazios existente no cilindro é bastante semelhante entre as caldas, e, inclusive, é uma boa representação de uma alvenaria de pedra, uma vez que para uma alvenaria de três folhas, o índice de vazios costuma ser aproximadamente 40%.

Verifica-se que a calda 1P, que apresentou o maior tempo no processo de injeção, apresentou uma maior quantidade de calda injetada no cilindro, porém, superando o volume de vazios existente. Esta anormalidade no resultado pode ser explicada pela diferença na obtenção dos resultados, uma vez que o volume total do cilindro foi obtido experimentalmente em laboratório, enquanto os volumes de brita e calda foram obtidas através de equações matemáticas.

Além disso, constata-se que todos os cilindros apresentam um índice de vazios teórico inferiores a 10%, sendo um bom resultado. Não é possível relacionar o índice de vazios com os plastificantes utilizados, uma vez que caldas com plastificantes de mesma base química apresentaram resultados consideravelmente diferentes.

5.2.5.2. Resistência mecânica à compressão

Na Tabela 15 estão dispostos os valores de força e tensão médias, bem como seus desvios-padrão de compressão uniaxial dos corpos de prova compostos pelas diferentes caldas e granito. A representação gráfica destes resultados é apresentada na Figura 33.

Tabela 15: Valores médios e desvios-padrão para força e tensão de compressão nos corpos de prova com idade de 28 dias.

Calda	Força média (kN)	Desvio padrão (kN)	Tensão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1P	141,67	4,71	8,02	0,27
2P	117,40	13,50	6,64	0,76
3P	108,62	9,11	6,15	0,52
4L	139,12	32,69	7,87	1,85
5N	124,30	9,90	7,03	0,56
6L	124,16	14,65	7,03	0,83

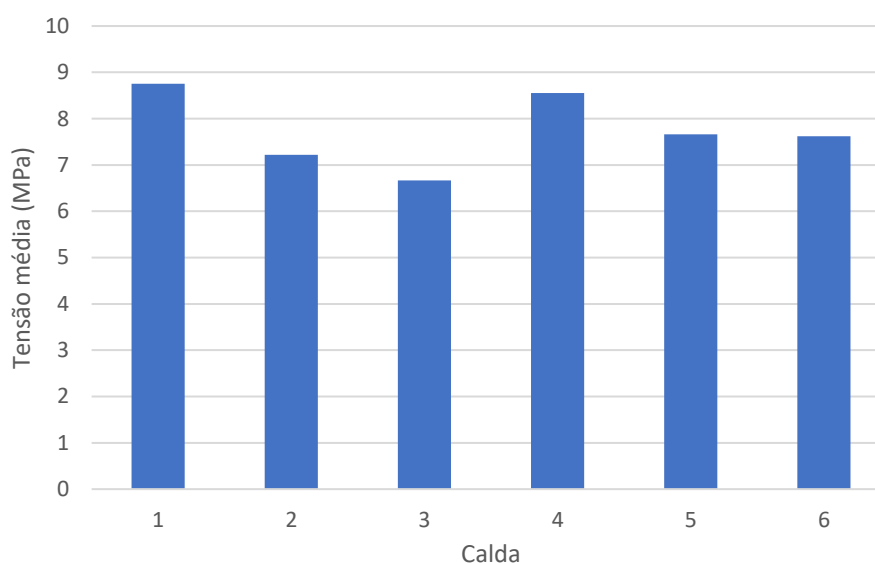


Figura 33: Tensões médias de compressão em cilindros compostos por calda + granito na idade de 28 dias.

Neste ensaio, nota-se pouca influência dos plastificantes sobre a resistência à compressão. Entretanto, ao comparar a resistência à compressão com o tempo de enchimento do cilindro, nota-se uma grande influência. As caldas com maior tempo de enchimento dos cilindros são as caldas que apresentam uma maior resistência à compressão. Da mesma forma, as caldas que apresentam o menor tempo, apresentam uma menor resistência à compressão, como se pode observar na Figura 34.

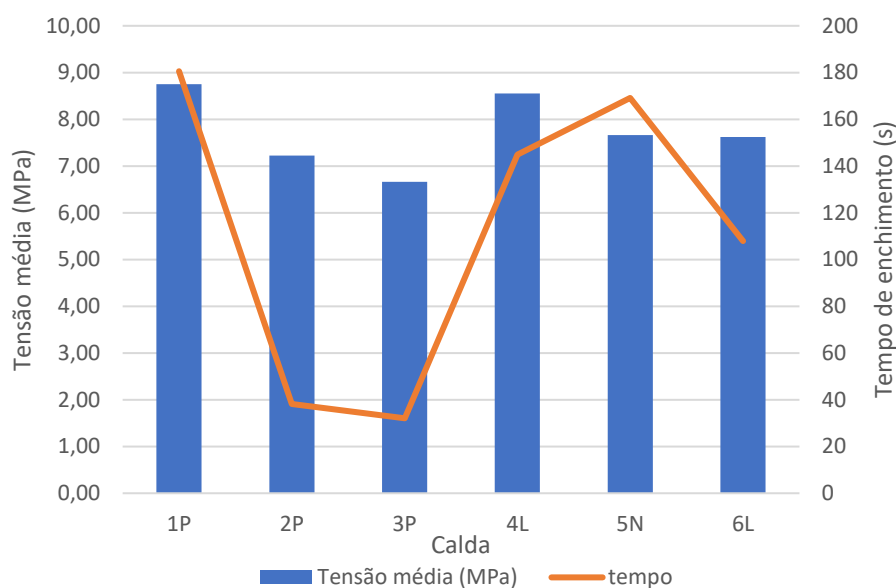


Figura 34: Tensão média de ruptura à compressão e tempo de enchimento do cilindro durante a injeção.

Um exemplo de corpo de prova cilíndrico submetido ao ensaio de resistência à compressão uniaxial está apresentado na Figura 35.



Figura 35: Corpo de prova cilíndrico após ensaio de resistência à compressão uniaxial.

É possível observar que todos os corpos de prova apresentaram modo de ruptura do tipo “colunar”, apresentando fissuras no sentido vertical do cilindro. Este modo de ruptura indica uma má distribuição de cargas no corpo de prova, sendo causada pela heterogeneidade do corpo de prova, uma vez que é composto por materiais de resistências diferentes.

5.3. Resumo dos resultados

De forma a apoiar a compreensão das conclusões apresentadas no próximo capítulo, os resultados de maior relevância estão mostrados na Tabela 16.

Tabela 16: Valores médios dos resultados obtidos durante a campanha experimental.

Propriedade	1P	2P	3P	4L	5N	6L
Características em estado fresco						
Escoamento de um litro em Cone de Marsh a 20°C (s)	19,94	18,31	18,60	29,38	39,28	33,49
Índice de expansão	0,00%	0,00%	1,05%	1,05%	0,53%	1,05%
Índice de exsudação	0,53%	0,53%	1,05%	1,05%	0,53%	1,05%
Características em estado endurecido						
Massa específica (g/cm ³)	1,62	1,65	1,66	1,66	1,64	1,63
Resistência à flexão (MPa)	28 dias	3,95	3,78	3,36	3,02	3,06
	90 dias	3,66	4,54	4,03	2,81	3,55
	180 dias	5,68	6,44	6,09	5,38	4,48
Resistência à compressão (MPa)	28 dias	12,91	13,48	13,15	13,59	13,13
	90 dias	17,64	17,80	18,20	18,21	18,46
	180 dias	21,55	22,87	24,47	24,97	22,65
Características relacionadas à interação entre calda e granito						
Aderência em suporte pétreo (MPa)	28 dias	0,25	0,18	0,48	0,29	0,28
	90 dias	0,23	0,28	0,46	0,32	0,49
Tempo de injetabilidade (s)	180,56	38,26	32,07	144,85	169,15	107,91
Resistência à compressão (MPa)	8,75	7,22	6,66	8,55	7,66	7,62

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Considerações finais

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas através da sistematização dos conhecimentos a respeito dos materiais e técnicas utilizadas e de toda a campanha experimental realizada.

Ao analisar o tempo de escoamento em Cone de Marsh, nota-se que as caldas que utilizaram policarboxilato como base química para o plastificante apresentaram resultados bastante superiores às outras caldas, ou seja, um menor tempo de escoamento. A calda que apresentou um pior desempenho (maior tempo de escoamento) foi a calda 5N. Ainda, não foi possível identificar uma influência do plastificante quanto a expansão e exsudação.

Como já citado anteriormente, as caldas que apresentaram um maior tempo de injeção do cilindro, foram as que apresentaram maior resistência à compressão do cilindro composto por calda e granito. Nota-se que as caldas com aditivos à base de policarboxilatos apresentaram um menor tempo de injeção e foram as caldas que também apresentaram um menor tempo de escoamento no Cone de Marsh, e, ainda, uma menor resistência mecânica do cilindro.

O comportamento das caldas em relação à flexão é semelhante à fluidez. As caldas 1P, 2P e 3P, em geral, foram as caldas que apresentaram uma maior resistência, enquanto a calda 5N apresentou a menor resistência, cerca de 74% da média das 3 primeiras caldas na idade de 180 dias.

Verificando os resultados dos ensaios de resistência à compressão e aderência em suporte pétreo, não foi possível determinar qual a real influência do aditivo plastificante, uma vez que estes resultados não apresentaram padrões definidos.

Conclusivamente, ao considerar a calda em estado fresco, nota-se a superioridade do aditivo plastificante com base de policarboxilatos. Ao analisar as caldas em estado endurecido, nota-se uma pequena melhoria nas propriedades destas caldas em relação à flexão, porém, por não ser muito

expressiva, não é possível concluir qual a real influência. Sendo assim, sugere-se que sejam realizados mais testes com outros aditivos plastificantes para garantir um resultado mais satisfatório.

6.2. Trabalhos futuros

Considerando os resultados obtidos e limitações que foram percebidas no decorrer deste trabalho, sugere-se para trabalho futuro os seguintes tópicos:

- Aperfeiçoar a metodologia do ensaio de aderência, reduzindo a seção transversal do granito, de forma a não interferir no resultado;
- Realizar semelhante campanha experimental utilizando uma maior quantidade de amostras, a fim de reduzir grandes variações nos resultados;
- Caracterizar as caldas semelhantes a esta pesquisa em tempos de cura superiores à 180 dias e seu comportamento quanto a sua durabilidade, realizando ensaios de envelhecimento acelerado e resistência à sais;
- Caracterizar caldas com outros aditivos plastificantes de primeira e segunda geração, a fim de analisar melhor a influência da base química quanto ao comportamento das caldas;
- Analisar a influência dos plastificantes em caldas compostas somente por cal hidráulica como aglomerante, com o objetivo de determinar a influência somente sobre a cal.
- Estudo da viabilidade econômica da calda e aditivos plastificantes utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Costa, “Patrimônio e cidade. Factores de identidade e planeamento urbano”, *2º Semin. A Interv. no património. Práticas Conserv. e Reabil.*, 2005.
- [2] J. C. A. Roque, “Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria”, *Encontro Nac. sobre Conserv. e Reabil. Estruturas*, p. 907–916, 2003.
- [3] J. M. Guedes, A. G. Costa, e E. Paupério, “Reforço de estruturas de alvenaria”, *2º Semin. A Interv. no património. Práticas Conserv. e Reabil.*, 2005.
- [4] E. Luso, “Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenaria Antiga”, 2012.
- [5] ICOMOS, “Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitetónico”, in *International Council on Monuments and Sites*, Edições Or., 2004.
- [6] J. Appleton, “Reabilitação de edifícios antigos”, in *Patologias e Tecnologias de intervenção*, 2003.
- [7] M. Tavares, “A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edificios antigos”, 2009.
- [8] F. Jorne, F. M. A. Henriques, e L. G. Baltazar, “Injection capacity of hydraulic lime grouts in different porous media”, *Mater. Struct. Constr.*, vol. 48, nº 7, p. 2211–2233, 2015.
- [9] L. Binda, A. Saisi, e C. Tedeschi, *Compability of materials used for repair of masonry buildings: Research and Applications*. 2006.
- [10] R. N. de C. Abrantes, “Caldas de injeção para revestimentos com perda de aderência”, p. 188, 2012.
- [11] V. Córias, *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. 2006.

- [12] E. Vintzileou, "Grouting of three-leaf stone masonry: Types of grouts, mechanical properties of masonry before and after grouting, Structural analysis of historical constructions", 2006.
- [13] E. Luso, P. Lourenço, e R. Ferreira, "Injecções para consolidação de construções em terra. Revisão do conhecimento e métodos de ensaio", V *Semin. Arquit. Terra em Port. Aveiro.*, 2007.
- [14] D. Eklund e H. Stille, "Penetrability due to filtration tendency of cement-based grouts", *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, p. 389–398, 2007.
- [15] D. Eklund, "Penetrability due to filtration tendency of cement-based grouts", 2005.
- [16] A. International, "ASTM C939 - Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)". 2016.
- [17] "NP EN 445 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio". 2008.
- [18] E. Toubakari, D. Van Gemert, e E. Vintzileou, "Experimental investigation and analytical modeling of the effect of injection grouts on the structural behaviour of three-leaf masonry walls, Structural Analysis of Historical Constructions", *Struct. Anal. Hist. Constr.*, p. 707–718, 2005.
- [19] "NP EN 447 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço". 2008.
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "NBR 16607 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega", 2018.
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "NBR 13528 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração". 2010.
- [22] M. L. Tavares, A. Fragata, e M. do R. Veiga, "A consolidação da falta de aderência de rebocos antigos – um estudo com diferentes argamassas para grouting", 2007.

- [23] A. International, “ASTM C1180-03a - Mortar and Grout for Unit Masonry”, p. 1–2, 2004.
- [24] M. R. Valluzzi, “Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base di calce”, 2000.
- [25] E. Toubakari, *Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls*. 2002.
- [26] S. Ignoul, F. Van Rickstal, e D. Van Gemert, “Application of mineral grouts. Case study and impact on structural behaviour: Church of St. Catarina at Duisburg (B)”, in *Structural Analysis of Historical Constructions*, L. e R. (eds) Modena, Org. 2005.
- [27] C.-E. Adami e E. Vintzileou, “Interventions to historic masonries: Investigation of the bond mechanism between stones or bricks and grouts”, in *Materials and Structures*, 2008.
- [28] A. Kalagri, A. Miltiadou-Fezans, e E. Vintzileou, “Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures”, in *Materials and Structures*, 2010.
- [29] B. Klosowski, “Caracterização de caldas de injeção a base de cal hidráulica para consolidação de alvenarias de pedra”, 2019.
- [30] J. Alvarez, C. Sequeira, e M. Costa, “Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas”, *1º Congr. Nac. Argamassas Construção*, p. 12, 2005.
- [31] “NP EN 459-1 - Cal de construção Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade”. 2011.
- [32] J. de S. Coutinho, *Materiais de construção 2 - 1ª parte - ligantes e caldas*. 2006.
- [33] G. Torraca, *Lectures on materials science for architectural conservation*. 2009.

- [34] A. Brás, “Grout optimization for masonry consolidation”, 2011.
- [35] “EN 197-1 - Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements”. 2011.
- [36] A. Neville, *Properties of Concrete*. 2011.
- [37] E. Vintzileou e A. Miltiadou-Fezans, “Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts”, *Eng. Struct.*, p. 2265–2276, 2007.
- [38] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 11768 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos”, 2011.
- [39] A. de S. Coutinho, *Fabrico e Propriedades do Betão*, 2ª edição. LNEC, 1988.
- [40] M. Pagé e N. Spiratos, “The Role of Superplasticizers in The Development of Environmentally-Friendly Concrete”, *Two-Day CANMET/ACI Int. Symp. Concr. Technol. Sustain. Dev.*, 2000.
- [41] M. H. Zhang, K. Sisomphon, T. S. Ng, e D. J. Sun, “Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, nº 9, p. 1700–1707, 2010.
- [42] R. J. Flatt, N. Roussel, e C. R. Cheeseman, “Concrete: An eco material that needs to be improved”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 32, nº 11, p. 2787–2798, 2012.
- [43] A. P. O. Bastos, “Análise da influência de aditivos superplastificantes no comportamento de pastas de cimento Portland com e sem adição de fíler calcário”, 2016.
- [44] E. Pinto, F. Lima, A. Martinelli, D. Melo, M. Melo, e C. Simão, “Adição de plastificantes em pastas de cimento para poços de petróleo: avaliação do comportamento reológico”, 4º *PDPEDRO*, 2007.
- [45] R. M. P. Chagas, “Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo

plastificante à base de lignosulfonato”, 2011.

- [46] R. Rixom e N. Mailvaganam, *Chemical Admixtures for Concrete*, Third. 1999.
- [47] P. Mehta e P. Monteiro, *Concrete: Microestructure, Properties, and Materials*. 2006.
- [48] K.-C. Hsu, J.-J. Chiu, S.-D. Chen, e Y.-C. Tseng, “Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability”, *Cem. Concr. Compos.*, 1999.
- [49] A. C. A. Corrêa, “Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CPIII-40”, 2010.
- [50] K. Yamada, T. Takahashi, S. Hanehara, e M. Matsuhisa, “Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer”, *Cem. Concr. Res.*, 1999.
- [51] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 7681-2 - Calda de cimento para injeção. Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil — Método de ensaio”. 2013.
- [52] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 7681-3 - Calda de cimento para injeção. Parte 3: Determinação dos índices de exsudação e expansão — Método de ensaio”. 2013.
- [53] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”. 2016.
- [54] “NP EN 196-1 - Métodos de ensaios de cimento. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas”. 2017.
- [55] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 9479 - Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova”. 2006.
- [56] A. International, “ASTM C1583 - Standard Test Method for Tensile Strength

of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)". 2013.

- [57] "NP EN 12390-3 - Ensaios do betão endurecido - Parte 3: Resistência à compressão de provetes". 2009.
- [58] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "NBR NM 53 - Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água". 2009.
- [59] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "NBR NM 45 - Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios". 2006.

ANEXO A – Ficha técnica do aditivo ViscoCrete 3002 HE – Sika

Ficha de Produto
Edição de Abril de 2011
Nº de identificação: 01.002
Versão nº 1
Sika® ViscoCrete® 3002 HE



Sika® ViscoCrete® 3002 HE

Superplastificante de alto desempenho

Descrição do produto

Sika® ViscoCrete® 3002 HE é um superplastificante forte redutor de água para betão.

Utilizações

Sika® ViscoCrete® 3002 HE é indicado para betão ou argamassa onde sejam requeridos simultaneamente um desenvolvimento rápido das resistências iniciais, muito forte redução de água e consistência muito favorável a uma boa colocação.

Sika® ViscoCrete® 3002 HE é especialmente adequado para os seguintes casos:

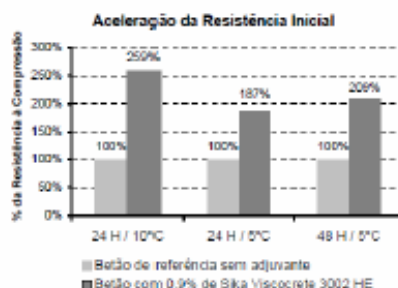
- Prefabricação de betão estrutural, em fábrica ou na obra.
- Betonagens com descofragem rápida.
- Betões solicitados numa idade curta.
- Betão autocompactável (BAC) com elevadas resistências iniciais.
- Betonagens mais rápidas em época fria.

Características/ Vantagens

Sika® ViscoCrete® 3002 HE actua sobre as partículas do ligante por dois mecanismos principais: adsorção superficial e efeito espacial. Ambos concorrem para um efeito dispersante muito intenso, permitindo grande redução da água de amassadura e acelerando as reações químicas de hidratação do cimento.

Consegue-se assim:

- Muito grande redução de água, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daí resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de capacidade elevada e de permeabilidade muito baixa.
- Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil.
- Composições adequadas para betão autocompactável (BAC) em prefabricação, com bom desenvolvimento de resistências.
- Redução ou eliminação de custos de aquecimento por vapor em prefabricação.
- Um comportamento mais favorável quanto à retração e quanto à fluência.
- Redução dos tempos de execução e de espera em prefabricação em obra.



Sika® ViscoCrete® 3002 HE é isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.

Certificados/ Boletins de Ensaio

Conforme as especificações da norma NP EN 934-2: T3.1/3.2.



Dados do produto

Aspecto / Cor	Líquido castanho claro, levemente turvo; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência sobre o desempenho do adjuvante.
Fornecimento	212 kg (200 l); 1.060 kg (1 m ³).
Armazenagem e conservação	O produto conserva-se durante 12 meses a partir da data de fabrico, na embalagem original não encetada, a temperaturas entre +5 °C e + 35 °C. Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa.

Dados técnicos

Base química	Solução aquosa de policarboxilatos modificados.
Massa volúmica	1,06 ± 0,02 kg/dm ³ (a +23 ± 2 °C).
pH (23 ± 2 °C)	4,3 ± 1,0.
Teor de sólidos	26,5 ± 1,3%.
Teor em cloretos	≤ 0,1%.

Informação sobre o sistema

Pormenores de aplicação

Consumo/ Dosagem	<p>Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se partir das seguintes dosagens:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Betão facilmente trabalhável: 0,4% - 0,9% do peso do cimento.■ Betão quase sem vibração e betão autocompactável (BAC): 1,0% - 2,0% do peso do cimento. <p>Sika® ViscoCrete® 3002 HE, em condições médias, apresenta apenas uma ligeira perda de consistência durante o tempo necessário para colocação em prefabricação. Se for oportuno prolongar ou aumentar a trabalhabilidade poderá efectuar-se uma redosagem com Sika® ViscoCrete® 3002 HE, desde que não se ultrapasse os 2,0% totais (excepto se houver ensaios prévios que justifiquem um valor mais alto).</p> <p>Dosagens de conformidade com NP EN 934-2:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Como redutor de água de alta gama: 0,7% a 0,9% do peso do cimento.■ Como acelerador de endurecimento: 0,8% a 1,0% do peso do cimento.
------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Instruções de aplicação

Mistura	<p>Preparar o betão com apenas cerca de ²/3 da água prevista e adicionar o adjuvante misturando energeticamente cerca de 1 minuto/m³; só então será adicionada mais água até à consistência desejada. Este processo conduz ao aproveitamento máximo do adjuvante e permite controlar a razão água/ligante. Se tal não for viável, adicionar o produto à água de amassadura previamente determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea. É importante garantir uma amassadura mínima de 1,5 a 2 minutos para obter o efeito pleno do adjuvante.</p> <p>Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia). É possível a adição na autobetoneira desde que seja garantida a uniformidade do betão.</p> <p>No caso de redosagem em obra, deve haver o cuidado de homogeneizar bem o adjuvante na massa do betão. Para isso, recomenda-se uma muito pequena adição de água no recipiente que contém o adjuvante, apenas para reduzir a sua viscosidade e facilitar a sua incorporação. O betão deve ser "puxado" acima e o adjuvante deve ser adicionado lentamente, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário, inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneização. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.</p>
---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Aplicação	Sika® ViscoCrete® 3002 HE permite o fabrico de betão de qualidade pelo que devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, betonagem e cura do betão.
Compatibilidade	Sika® ViscoCrete® 3002 HE pode ser combinado com os seguintes produtos: <ul style="list-style-type: none"> ■ Sika® FerroGard® 901. ■ Sika® Pump. ■ Sika® Rapid. ■ Sikacrete®. Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.
Limpeza de ferramentas	Limpar todas as ferramentas e equipamento com água imediatamente após a utilização. Material curado/endurecido só pode ser removido mecanicamente.
Importante	<ul style="list-style-type: none"> ■ Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere os componentes do betão ou a própria composição. ■ Sendo o Sika® ViscoCrete® 3002 HE um produto adequado para a produção de betão fluido e para betão autocompactável, a composição tem de ser estudada. ■ Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se. <p>Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.</p>
Nota	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.
Risco e segurança	
Medidas de segurança	Para informações complementares sobre o manuseamento, armazenagem e eliminação de resíduos do produto consultar a respectiva Ficha de Dados de Segurança e o rótulo da embalagem.
	<p>"O produto está seguro na Cº Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nºCH00003018L105A), a título de responsabilidade civil do fabricante".</p> <p>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.</p>
Marcação CE	<p>A Norma Europeia EN 934-2:2003 "Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem" especifica as definições e os requisitos dos adjuvantes para uso no betão. Abrange adjuvantes para betão simples, armado e pré-esforçados usados no betão fabricado no local da obra, no betão pronto e no betão fabricado em centrais de produção de elementos prefabricados.</p> <p>Nesta norma os requisitos de desempenho aplicam-se a adjuvantes usados no betão de consistência normal. Eles podem não ser aplicáveis a adjuvantes para outros tipos de betão tais como betões meio secos e de consistência terra húmida.</p>



Sika Portugal, S.A.
R. de Santarém, 113
4400-292 V. N. Gaiá
Portugal
Tel. +351 22 377 69 00
Fax +351 22 370 20 12
www.sika.pt





Chronos VF 204

Polymer-based superplasticizer for ready-mixed concrete

DESCRIPTION

Chronos VF 204 is a polymer-based admixture, developed specifically for the ready-mixed concrete market, and in cases where concrete must be transported over long distances, and where good strength must be achieved after short curing times.

Chronos (*Chemically Reactive Nanostructural Superplasticizers*) technology was developed in MAPEI's own Research & Development laboratories, and integrates the characteristics of traditional acrylic superplasticizers with the innovative and revolutionary technology of these new polymers. The combination of these effects provokes the progressive activation of **Chronos VF 204** within the cementitious conglomerate, so that the loss of workability is continuously compensated for by the "release" of the special functional groups present in the polymers.

WHERE TO USE

The performance of **Chronos VF 204** makes it particularly suitable for making ready-mixed concrete which, because of its production cycle and/or distance from the mixing plant to the site, requires its workability to be maintained for more than one hour, together with a quick development

of its mechanical strength even after short curing times.

Chronos VF 204 is particularly recommended for the production of ready-mixed concrete:

- with medium to long transport times, including those higher than one hour and thirty minutes, in which the consistency class must remain stable without adding water, and with high resistance when stripping formwork;
- for waterproof, durable applications according to exposure classes contained in EN 206-1 Standards;
- in R_{ck} 25-45 N/mm² strength class.

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Chronos VF 204 is a water solution of polymers, developed and formulated using *Chemically Reactive Nanostructural Superplasticizers technology*. It has the property of dispersing the cement granules to produce high quality concrete, with high mechanical strength and durability.

The special composition of **Chronos VF 204** makes the product react on the hydration of

TECHNICAL DATA (typical values)

PRODUCT IDENTITY

Consistency:	liquid
Colour:	amber
Density according to ISO 758 (g/cm ³):	1.07 ± 0.02 at +20°C
Main action:	increase in workability and/or reduction of mixing water, long conservation of workability
Classification according to EN 934-2:	setting-delay admixture, high-efficiency water reducing agent, superplasticizer, tables 11.1 and 11.2
Classification according to ASTM C494:	Type G
Classification according to ASTM C1017:	Type II
Chlorides soluble in water according to EN 480-10 (%):	< 0.1 (absent according to EN 934-2)
Alkali content (Na ₂ O equivalent) according to EN 480-12 (%):	< 2
pH according to ISO 4316:	6 ± 1

the cement, inducing a quicker development of mechanical strength, even after short curing times.

COMPATIBILITY WITH OTHER PRODUCTS

Chronos VF 204 is compatible with other admixtures used in the manufacture of high-quality concrete, and especially with:

- chlorides-free, hardening accelerator admixtures from the **Mapecfast** range to reach high mechanical strength after short curing times, even in cold weather;
- **Mapecplast SF**, micro-silica-based powder, used in the production of "top-quality" concrete with high mechanical strength and waterproofing and durability properties;
- **Mapecure SRA 25** shrinkage-reducing admixture and **Expancrete** expanding agent, used in the production of concrete using the **Mapecrete System**;
- form-release compounds from the

Mapecform Eco and **DMA** range, used for stripping formwork from concrete;

- curing agents from the **Mapecure** range for protection against rapid evaporation of the blending water in concrete structures without formwork;
- air-entraining agents from the **Mapecair AE** range, used in the production of concrete resistant to freeze/thaw cycles.

HOW TO USE

Add **Chronos VF 204** into the cement mixer after all the other ingredients (water, cement and aggregates). Mix until a homogenous mix is obtained.

RECOMMENDATIONS

The products in the **Chronos** range must not be used to produce concrete for industrial floors.

CONSUMPTION

Dosage in volume:
from 0.6 to 1.2 l per 100 kg of cement.
Different dosages from those suggested

must be previously tested through concrete trials, in addition to consulting MAPEI Technical Services Department.

PACKAGING

Chronos VF 204 is available in bulk quantities, in 200 l drums or 1000 l tanks.

STORAGE

Chronos VF 204 can be stored for 12 months in sealed containers and protect from frost. While the product may change colour if exposed to direct sunlight, its performance properties will remain unchanged.

SAFETY INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND APPLICATION

Chronos VF 204 is not considered hazardous according to current norms regarding the classification of mixtures. However, it is recommended to use gloves, goggles and to take the usual precautions for handling chemicals. For further and complete information about the safe use of our product please refer to the latest version of our Material Safety Data Sheet.

PRODUCT FOR PROFESSIONAL USE.

WARNING

Although the technical details and recommendations contained in this product data sheet correspond to the best of our knowledge and experience, all the above information must, in every case, be taken as merely indicative and subject to confirmation after long-term practical application; for this reason, anyone who intends to use the product must ensure beforehand that it is suitable for the envisaged application. In every case, the user alone is fully responsible for any consequences deriving from the use of the product.

Please refer to the current version of the Technical Data Sheet, available from our website www.mapei.com

**All relevant references
for the product are available
upon request and from
www.mapei.com**

ANEXO C – Ficha técnica do aditivo SikaPlast 912 – Sika

Construction

Ficha de Produto
Edição de Setembro de 2013
Nº de identificação: 01.123
Versão nº 1
SikaPlast® 912

SikaPlast® 912

Powered by ViscoCrete®

Superplastificante de alto desempenho

Descrição do produto	SikaPlast® 912 é um superplastificante forte redutor de água para betão.
Utilizações	<p>SikaPlast® 912 permite obter uma forte plastificação e uma boa manutenção de consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas.</p> <p>SikaPlast® 912 é especialmente adequado para as seguintes situações:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Betões de classe de resistência média e alta, com qualquer consistência, nos quais se pretenda obter uma economia grande de cimento.■ Betões plásticos com descofragem rápida ou com uma solicitação numa idade curta.■ Betão plástico, muito plástico, fluido ou mesmo autocompactável (BAC) com resistências iniciais melhoradas e com menor custo.■ Betonagens mais rápidas em época fria. <p>SikaPlast® 912 confere à composição uma boa robustez às variações da água e dos diferentes constituintes e assim melhora a estabilidade, limitando os riscos de segregação, comparando com os adjuvantes inicialmente desenvolvidos à base de policarboxilatos.</p>
Características/Vantagens	<p>SikaPlast® 912 é um superplastificante/forte redutor de água que confere ao betão as seguintes propriedades:</p> <p>Consegue-se assim:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Um nível de redução de água muito elevado, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daqui resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa.■ Excelente performance quer usado sozinho como combinado com outros adjuvantes.■ Maior robustez contra variações nos agregados e/ou diferentes tipos de cimento.■ Bom aspecto da superfície na descofragem.■ Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil.■ Uma boa manutenção de consistência, que pode atingir as 2 horas a +20 °C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem de adjuvante. <p>SikaPlast® 912 é isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.</p>
Dados do produto	
Aspecto / Cor	Líquido castanho claro, levemente turvo; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência no desempenho do adjuvante.
Fornecimento	214 kg (200 l); 1070 kg (1 m³).



Armazenagem e conservação	O produto conserva-se durante 12 meses a partir da data de fabrico, na embalagem original não encetada, a temperaturas entre +5 °C e + 30 °C. Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa.
----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dados técnicos

Base química	Solução aquosa de policarboxilatos modificados.
Massa volúmica	1,07 ± 0,02 kg/dm ³ (a +23 ± 2 °C).
pH (23 ± 2 °C)	4,5 ± 1,0.
Teor de sólidos	35,8 ± 1,7%.
Teor em cloretos	≤ 0,1%.

Informação sobre o sistema

Pormenores de aplicação

Consumo/ Dosagem	Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se partir das seguintes dosagens: ■ Dosagem corrente: 0,8% a 1,2% do peso do ligante. Em sinergias com plastificantes Sika, a dosagem aconselhada poderá ir de 0,5% a 0,8% sobre o peso do ligante.
-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Instruções de aplicação

Mistura	Preparar o betão com cerca de $\frac{2}{3}$ da água prevista e adicionar o adjuvante misturando aprox. 1 minuto/m ³ ; 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.
Aplicação	SikaPlast® 912 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.
Limpeza de ferramentas	Limpar todas as ferramentas e equipamento com água imediatamente após a utilização. Material curado/endurecido só pode ser removido mecanicamente.
Importante	<ul style="list-style-type: none"> ■ Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante 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.

Nota	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.
-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Risco e segurança

REACH	<p>"Regulamento da Comunidade Europeia sobre os produtos químicos e seu uso seguro (REACH: CE 1907/2006). Este produto está conforme os termos do Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)".</p> <p>Todas as substâncias contidas nos Produtos Sika são:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pré-registradas ou registadas pelos nossos fornecedores a montante e/ou - pré-registradas pela Sika e/ou - isentas de registo.
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Medidas de segurança	Para informações complementares sobre o manuseamento, armazenagem e eliminação de resíduos do produto consultar a respectiva Ficha de Dados de Segurança e o rótulo da embalagem.
-----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

"O produto está seguro na Cª Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nºCH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

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 ensalado 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 Portugal, SA
R. de Santarém, 113
4400-292 V. N. Gaia
Portugal

Tel. +351 22 377 69 00
Fax +351 22 370 20 12
www.sika.pt



Implementação Global de OHS



Centrament N 3

Plastificante para betão

Propriedades

- Livre de agentes promotores de corrosão
- Boa relação custo/dosagem
- Melhora a dispersão do cimento
- Ligeiro efeito retardador
- Melhora a trabalhabilidade

Áreas de aplicação

- Betão pronto
- Betão bombeado
- Betão exposto e betão aparente
- Classe de consistência S2 / S3
- Artefactos de betão

Aplicação

O Centrament N 3 pode ser utilizado com todos os tipos de cimento standard.

O Centrament N 3 reduz a superfície de tensão da água e cria um intenso efeito dispersivo, resultando numa grande plastificação do betão, mesmo que a quantidade de adjuvante adicionada seja reduzida. A agregação das partículas de cimento também é reduzida. A dispersão das partículas de cimento é facilitada. Desta forma, obtém-se um betão de fácil trabalhabilidade com uma reduzida necessidade de compactação.

Se o Centrament N 3 for utilizado para reduzir a quantidade de água adicionada, o cimento torna-se mais denso, obtendo-se um betão endurecido com propriedades melhoradas (resistência à compressão, durabilidade).

Dependendo do tipo de cimento, temperatura e

condições climáticas, poderá existir um ligeiro efeito retardador. Isto é determinado com ensaios prévios.

Centrament N 3 pode ser utilizado em combinação com outros adjuvantes MC.

Centrament N 3 é adicionado durante a mistura do betão. Sendo mais eficaz quando adicionado após a primeira adição de água da amassadura. Também é possível adicioná-lo juntamente com a água da amassadura.

Aconselha-se a leitura de " Informação geral para o uso de adjuvantes para betão".

Depósitos de armazenamento devem ser limpos com regularidade de modo a prevenir a formação de sedimentos provenientes das partículas sólidas em suspensão.



Dados técnicos – Centrament N 3

Características	Unidades	Valores	Comentários
Densidade	kg/dm ³	Aprox. 1,22	± 0,03
Dosagem recomendada	g	2 – 10	Por kg de cimento
Teor máximo de cloretos	%	< 0,10	Por peso
Teor máximo de álcalis	%	< 0,50	Por peso

Características do produto Centrament N 3

Tipo de adjuvante	Plastificante EN 934-2: T 2
Nome do adjuvante	Centrament N 3
Cor	Castanho
Consistência	Líquido
Certificado de controlo de produção em fábrica	0754-CPD
Entidade certificadora	MPA; Karlsruhe
Supervisão interna de acordo com	EN ISO 9001 e EN 934-2/6
Fornecimento	Embalagens de 230kg Embalagens de 1100kg

As propriedades especificadas são baseadas em testes laboratoriais e podem variar com as aplicações práticas. Para determinar as especificações técnicas individuais, testes preliminares devem ser efectuados de acordo com as condições de aplicação.

Nota: A informação constante nesta ficha técnica é baseada na nossa experiência e no que se acredita serem as informações mais seguras disponíveis, não devendo ser entendidas como recomendações que infringem outras patentes. Apesar de todos os produtos MC serem submetidos a testes rígidos de qualidade, nenhuma garantia específica pode ser atribuída atendendo a que os resultados não dependem só da qualidade do produto, mas também de outros factores além do nosso controlo. Os dados constantes na ficha técnica remetem para a regulamentação existente e que tem que ser seguida durante a aplicação. Todas as transacções estarão sujeitas aos nossos termos e condições de venda, entrega e serviço. Estamos à disposição para esclarecimentos relativos à aplicação ou rendimento dos produtos, ressalvando que as recomendações verbais diferem das instruções contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie. As normas actualmente em vigor deverão ser respeitadas e cumpridas em todas as situações.

Edição 10/2013. Esta ficha técnica substitui a versão anterior; edições antigas não são válidas. Uma nova ficha técnica pode ser impressa em substituição a esta edição e esta deixa de ser válida.

MC-Bauchemie Portugal, Lda. • Rua Pinhal dos Morros nº6 / 2120-064 Foros de Salvaterra
Telf.: 00351 263 509 080 • Fax: 00351 263 509 089 • geral@mc-bauchemie.pt • www.mc-bauchemie.pt



Muraplast FK 48

Superplastificante

Propriedades

- Livre de agentes promotores de corrosão
- Dispersão intensa da pasta de cimento
- Boa homogeneidade do betão devido aos efeitos físico-químicos
- Diminui as forças internas de fricção do betão
- Forte plastificação, diminuindo assim a quantidade de água requerida
- Na aplicação, torna mais fácil o espalhamento e compactação do betão
- Boa relação custo/dosagem

Áreas de aplicação

- Pré-fabricação
- Betão pronto
- Betão com alta resistência
- Betão com fibras de aço
- Pavimentos industriais

Aplicação

Muraplast FK 48 é superplastificante para betão e pode ser utilizado em combinação com todos os tipos de cimento standard.

Muraplast FK 48 pode ser adicionado em obra. Com esta adição, pode-se alcançar a consistência original (S2, S3 ou S4), caso a consistência tenha sido alcançada por adição de um adjuvante plastificante para betão.

Muraplast FK 48 provoca uma forte plastificação do betão mesmo com dosagens reduzidas. A agregação das partículas de cimento é reduzida, pois sofrem intensa dispersão. Obtém-se uma melhoria na coesão e na trabalhabilidade do betão.

Muraplast FK 48 reduz significativamente a quantidade de água necessária. Ao reduzir a relação de água/cimento verifica-se um aumento considerável das resistências iniciais e finais.

Muraplast FK 48 permite aumentar as classes de

consistência, p. ex. de S2 até S5, sem alterar a quantidade de água adicionada.

Muraplast FK 48 pode ser utilizado em combinação com outros adjuvantes MC.

Muraplast FK 48 é adicionado durante a mistura do betão. Sendo mais eficaz quando adicionado após a primeira adição de água da amassadura. Também é possível adicioná-lo juntamente com a água da amassadura. O tempo de mistura deve ser o suficiente de modo a que o adjuvante possa dispersar e desenvolver os efeitos plastificantes durante a mistura.

No caso de a dosagem ser feita em camiões-betoneira, deve-se seguir as normas correspondentes.

Aconselha-se a leitura de "Informação geral para o uso de adjuvantes para betão".



Dados técnicos – Muraplast FK 48

Características	Unidades	Valores	Comentários
Densidade	kg/dm ³	Aprox. 1,20	± 0,03
Dosagem recomendada	g	2 - 40	Por kg de cimento
Teor máximo de cloretos	%	< 0,10	Por peso
Teor máximo de álcalis	%	< 6,0	Por peso

Características do produto Muraplast FK 48

Tipo de Adjuvante	Superplastificante EN 934-2: T 3.1 / 3.2 (Plastificante para betão EN 934-2: T 2)
Nome do Adjuvante	Muraplast FK 48
Cor	Castanho
Consistência	Líquido
Certificado de controlo de produção em fábrica	0754-CPD
Entidade Certificadora	MPA, Karlsruhe
Supervisão interna de acordo com	EN ISO 9001 / EN 934-2/6
Fornecimento	Embalagens de 230kg Embalagens de 1000kg

Nota: A informação constante nesta ficha técnica é baseada na nossa experiência e no que se acredita serem as informações mais seguras disponíveis, não devendo ser entendidas como recomendações que infringem outras patentes. Apesar de todos os produtos MC serem submetidos a testes rígidos de qualidade, nenhuma garantia específica pode ser atribuída atendendo a que os resultados não dependem só da qualidade do produto, mas também de outros factores além do nosso controlo. Os dados constantes na ficha técnica remetem para a regulamentação existente e que tem que ser seguida durante a aplicação.
Todas as transacções estarão sujeitas aos nossos termos e condições de venda, entrega e serviço. Estamos à disposição para esclarecimentos relativos à aplicação ou rendimento dos produtos, ressalvando que as recomendações verbais diferem das instruções contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie. As normas actualmente em vigor deverão ser respeitadas e cumpridas em todas as situações.

Edição 09/2013. Esta ficha técnica substitui a versão anterior; edições antigas não são válidas. Uma nova ficha técnica pode ser impressa em substituição a esta edição e esta deixa de ser válida.

MC-Bauchemie Portugal, Lda. • Rua Pinhal dos Morros nº6 / 2120-064 Foros de Salvaterra
Telf.: 00351 263 509 080 • Fax: 00351 263 509 089 • geral@mc-bauchemie.pt • www.mc-bauchemie.pt



DESCRIÇÃO

O **Mapeplast R10** é um adjuvante líquido plastificante com efeito retardador para betões.

CAMPOS DE APLICAÇÃO

O **Mapeplast R10** destina-se à produção de betão com resistência mecânica média, com retenção da trabalhabilidade prolongada.

O **Mapeplast R10** é particularmente indicado para todas as aplicações que exijam uma velocidade de hidratação do cimento moderada com curas curtas.

Os principais campos de aplicação são:

- betão pronto (particularmente com clima quente);
- betão bombeável;
- betão para betonagens massivas.

Alguns exemplos de aplicação

Além do efeito plastificante, o **Mapeplast R10** tem uma ligeira acção retardadora sobre a hidratação do cimento: graças à combinação destes dois efeitos, o **Mapeplast R10** é um adjuvante plastificante particularmente indicado para:

- betão pronto de qualidade (C 20/25 MPa e classes superiores);

- betão pronto destinado a tempos de transporte superiores a 1 hora, em clima quente;

- betão para betonagens massivas onde se deva reduzir os gradientes térmicos resultantes do desenvolvimento do calor de hidratação: barragens, fundações, pilares, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O **Mapeplast R10** é uma solução aquosa de produtos activos capazes de dispersar os grânulos de cimento (consultar a tabela "Dados Técnicos"). A acção desfloculante do **Mapeplast R10** pode ser utilizada vantajosamente de três maneiras:

- A)** para reduzir apenas a água (de -5% a -10%) relativamente ao betão não adjuvado com trabalhabilidade igual: como consequência, registam-se aumentos da resistência mecânica, redução da permeabilidade à água e aumento da durabilidade;
- B)** para aumentar a trabalhabilidade (de +5 a +10 cm de slump) relativamente ao betão não adjuvado com bom desempenho (resistência mecânica, impermeabilidade, durabilidade), mas de aplicação difícil (betão seco ou plástico);
- C)** para reduzir tanto a água como o cimento em proporção igual (de -5% a -10%) de forma a deixar inalterada a trabalhabilidade relativamente

DADOS TÉCNICOS (valores típicos)	
DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO	
Consistência:	líquido
Cor:	castanho
Massa volumica segundo ISO 758 (g/cm³):	1,19 ± 0,03 a +20°C
Teor de sólidos secos segundo EN 480-8 (%):	40,2 ± 2,0
pH:	8,5 ± 1,5
Função principal:	redução de água e/ou aumento da trabalhabilidade
Função secundária:	retardamento da hidratação inicial, manutenção da trabalhabilidade
Classificação segundo UNI EN 934-2:	retardador de presa, redutor de água, plastificante, parágrafo 10 WR+SRA
Cloretos solúveis em água segundo EN 480-10 (%):	< 0,1 (isento segundo UNI EN 934-2)
Conteúdo de alcalis (Na ₂ O equivalente) segundo EN 480-12 (%):	< 6
Armazenagem:	12 meses nas embalagens originais fechadas. Proteger do gelo
Classificação de perigo segundo a Directiva 1999/45/CE:	nenhuma. Antes de usar, consultar o parágrafo "Instruções de segurança para a preparação e aplicação em obra" e as informações referidas na embalagem e na Ficha de Segurança
Classificação aduaneira:	3824 40 00

a betão não adjuvado: registam-se, neste caso, vantagens económicas, devido à menor incidência do adjuvante quanto à poupança de cimento, e técnicas devido à retracção higrométrica menor, deformação viscosa menor, desenvolvimento de calor menor, etc. Esta modalidade de aplicação é recomendada sobretudo para betão com elevada dosagem de cimento (> 350 kg/m³).

Qualquer que seja o objectivo a atingir (aumento do desempenho, aumento da trabalhabilidade, redução da dosagem de cimento), é possível modular a vantagem derivante da adição de **Mapeplast R10** variando a dosagem num intervalo de 0,2-1% sobre o peso do cimento: quanto mais alta a dosagem, maior é o efeito.

Também o efeito de manutenção da trabalhabilidade (assim como o retardamento da presa) aumenta com a dosagem do adjuvante.

MODO DE APLICAÇÃO

É preferível adicionar o **Mapeplast R10** na central de betão, depois de se ter introduzido todos os outros constituintes (água, cimento, agregados). A acção do adjuvante é tanto mais eficaz, quanto mais adiado for o momento da adição. A acção do **Mapeplast R10** é máxima se os grânulos de cimento e os agregados já estiverem humedecidos com água, e é mínima se o adjuvante for introduzido sobre sólidos secos que absorvem uma parte do adjuvante (sobretudo se os agregados forem absorventes) reduzindo assim parcialmente a eficácia. Uma boa

regra é a de iniciar a adição do adjuvante, mediante doseador automático, quando já tiver sido adicionada metade da água da amassadura prevista.

Compatibilidade com outros produtos

O adjuvante **Mapeplast R10** é compatível com outros produtos para a produção de betão especial e em particular com:

- adjuvantes da gama **Mapeplast**, **Mapefluid** e **Dynamon**;
- Disarmante **DMA 1000**, **DMA 2000** ou **DMA 3000** para a desmoldagem do betão das cofragens;
- agentes de cura **Mapecure** para a protecção da evaporação rápida da água da amassadura de estruturas em betão sem cofragem (pavimentos).

CONSUMO

Dosagem em volume:

de 0,2 a 1,2 l por cada 100 kg de cimento.

EMBALAGEM

O **Mapeplast R10** é fornecido a granel, em tambores de 200 l e em cisternas de 1000 l.

ARMAZENAGEM

Conservar em recipientes fechados e protegidos do gelo.

INSTRUÇÕES DE SEGURANÇA PARA A PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO EM OBRA

O **Mapeplast R10** não é perigoso conforme as actuais normas de

classificação de misturas. Aconselha-se usar luvas e óculos de protecção e seguir as precauções habituais na manipulação de produtos químicos.

A ficha de segurança está disponível a pedido para os utilizadores profissionais. Para obter informações adicionais e completas sobre a utilização segura do produto, aconselha-se consultar a versão mais recente da Ficha de Segurança.

PRODUTO PARA USO PROFISSIONAL.

ADVERTÊNCIA

As informações e prescrições acima descritas, embora correspondendo à nossa melhor experiência, devem considerar-se, em todos os casos, como puramente indicativas e devem ser confirmadas por aplicações práticas exaustivas; portanto, antes de aplicar o produto, quem tencione dele fazer uso é obrigado a determinar se este é ou não adequado à utilização prevista, assumindo todavia toda a responsabilidade que possa advir do seu uso.

Consultar sempre a versão actualizada da ficha técnica, disponível no nosso site www.mapei.com

As referências relativas a este produto estão disponíveis a pedido e no site da Mapei www.mapei.pt ou www.mapei.com

ANEXO G – Caracterização do granito

Para uma melhor compreensão das propriedades do granito quando submetidos ao ensaio de injetabilidade, optou-se por caracterizá-lo. As britas utilizadas nesta pesquisa já possuíam sua granulometria determinada, correspondendo à faixa entre 10 e 20 mm, conforme apresentado na Tabela 17. A curva granulométrica deste agregado está representada na Figura 36.

Tabela 17: Granulometria da brita utilizada.

Peneira (mm)	MASSA INICIAL			3273,1 g
	Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Massa passada (g)	% passada
31,5	0	0	3273,1	100%
20	160,7	160,7	3112,4	95,09%
16	1339,2	1499,9	1773,2	54,17%
14	989,5	2489,4	783,7	23,94%
12,5	459,2	2948,6	324,5	9,91%
10	207,5	3156,1	117	3,57%
8	48,9	3205	68,1	2,08%
6,3	15	3220	53,1	1,62%
4	10,2	3230,2	42,9	1,31%
2	14,6	3244,8	28,3	0,86%
1	3,9	3248,7	24,4	0,75%
0,5	2,8	3251,5	21,6	0,66%
0,25	3,7	3255,2	17,9	0,55%
0,125	6	3261,2	11,9	0,36%
0,063	5,5	3266,7	6,4	0,20%
Finos	6,4	3273,1		

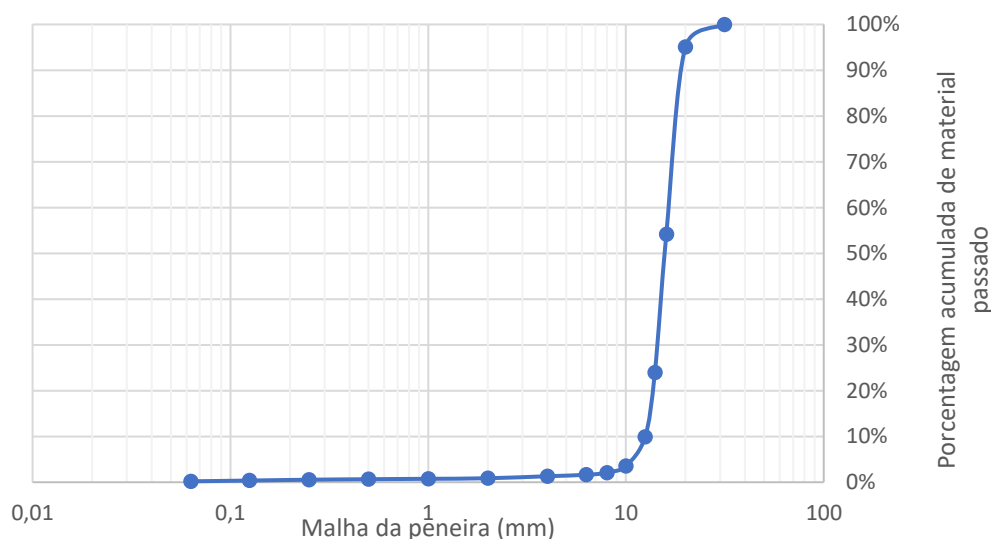


Figura 36: Curva granulométrica da brita utilizada.

Procedimento experimental

Além da granulometria, é importante determinar outras características, como a massa específica, índice de absorção, índice de vazios etc. A determinação da massa específica e de absorção de água foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR NM 53 (2009).

Inicialmente o agregado foi passado pela peneira com malha de 10 mm para a remoção dos finos. Em seguida, todo o material foi completamente lavado para a remoção do pó ou outro material da superfície. O agregado foi seco em estufa à uma temperatura de 105°C por 3 horas, até atingir uma massa constante. Por fim, esperou-se até que a amostra atingisse a temperatura ambiente, aproximadamente 1 hora [58].

A amostra foi pesada para a determinação da massa na condição seca (m). Em seguida, foi submersa em água à temperatura ambiente por 24 horas. Em seguida, a amostra foi envolvida em um pano absorvente para que fosse removida toda a umidade superficial. Imediatamente após a secagem da superfície, a amostra foi pesada para a determinação do seu peso na condição de agregado saturado com superfície seca (m_s).

A amostra foi retornada à água em um cesto metálico com aberturas circulares com diâmetro de 3,35 mm, acoplado à uma balança, com o objetivo de determinar a massa em água (m_a). Por fim, os valores encontrados foram aplicados na Equação (6), Equação (7), Equação (8) e Equação (9) [58].

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (6)$$

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (7)$$

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (8)$$

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100\% \quad (9)$$

Onde:

d é a massa específica do agregado seco, expressa em g/cm³;

d_s é a massa específica do agregado na condição saturado com superfície seca, expressa em g/cm³;

d_a é a massa específica aparente do agregado seco, expressa em g/cm³;

A é a absorção de água, expressa em porcentagem;

m é a massa ao ar da amostra seca, expressa em g;

m_a é a massa em água da amostra, expressa em g;

m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em g;

A é a absorção, expressa em porcentagem.

A determinação da massa unitária e do índice de vazios dos agregados foi feita de acordo com a ABNT NBR 45 (2006) [59]. Inicialmente, foi determinado e registrado a massa do recipiente (m_r). Em seguida, o recipiente foi enchido com o agregado seco em estufa até um terço de sua capacidade, onde foi aplicado 25 golpes com uma haste de extremidade semiesférica, distribuídos uniformemente em toda a superfície do material. Tomou-se o cuidado para que a haste não atingisse o fundo do recipiente. Posteriormente, foi realizado o mesmo processo, enchendo o recipiente até dois terços do seu volume e até o seu enchimento final, também tomando o cuidado para que a haste não atingisse as camadas inferiores.

Com o auxílio de uma espátula, a camada superficial do agregado foi nivelada. Por fim, o recipiente com a amostra foi pesado e registrado (m_{ar}). Os valores obtidos foram aplicados na Equação (10) [59].

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (10)$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, expressa em kg/m³;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, expressa em kg;

m_r é a massa do recipiente vazio, expressa em kg;

V é o volume do recipiente, expresso em m^3 .

Para a determinação da massa unitária na condição saturado com superfície seca (ρ_{as}), os resultados obtidos nas Equações (9) e (10), foram aplicados na Equação (11).

$$\rho_{as} = \rho_{ap} \times \left(1 + \frac{A}{100}\right) \quad (11)$$

Onde:

ρ_{as} é a massa unitária na condição saturada com superfície seca, expressa em kg/m^3 ;

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, expressa em kg/m^3 ;

A é a absorção de água, expressa em porcentagem.

Ainda, para a determinação do índice de volumes de vazio dos agregados (E_v), foi utilizada a Equação (12).

$$E_v = \frac{100 \times [(d \times \rho_w) - \rho_{ap}]}{d \times \rho_w} \quad (12)$$

Onde:

E_v é o índice de volume de vazios nos agregados, expresso em porcentagem;

d é a massa específica relativa do agregado seco, expressa em kg/m^3 ;

ρ_w é a massa específica da água, expressa em kg/m^3 ;

ρ_{ap} é a massa unitária média do agregado, expressa em kg/m^3 .

Resultados

Os resultados obtidos na caracterização do granito estudado estão expostos na Tabela 18. As massas específicas e absorção de água são características do material, enquanto as massas unitárias e índice de vazios estão diretamente relacionados à granulometria do material.

Tabela 18: Resultados obtidos na caracterização do granito.

Propriedade	Resultado
Massa específica em condição seca	2661,59 kg/m ³
Massa específica em condição saturado superfície seca	2636,34 kg/m ³
Massa específica aparente seca	2621,15 kg/m ³
Absorção de água após 24 horas	0,58%
Massa unitária em condição seca	1449,11 kg/m ³
Massa unitária em condição saturado superfície seca	1457,51 kg/m ³
Índice de volume de vazios	45,46%