

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GEOVANI GABARDO DIAS PINHEIRO

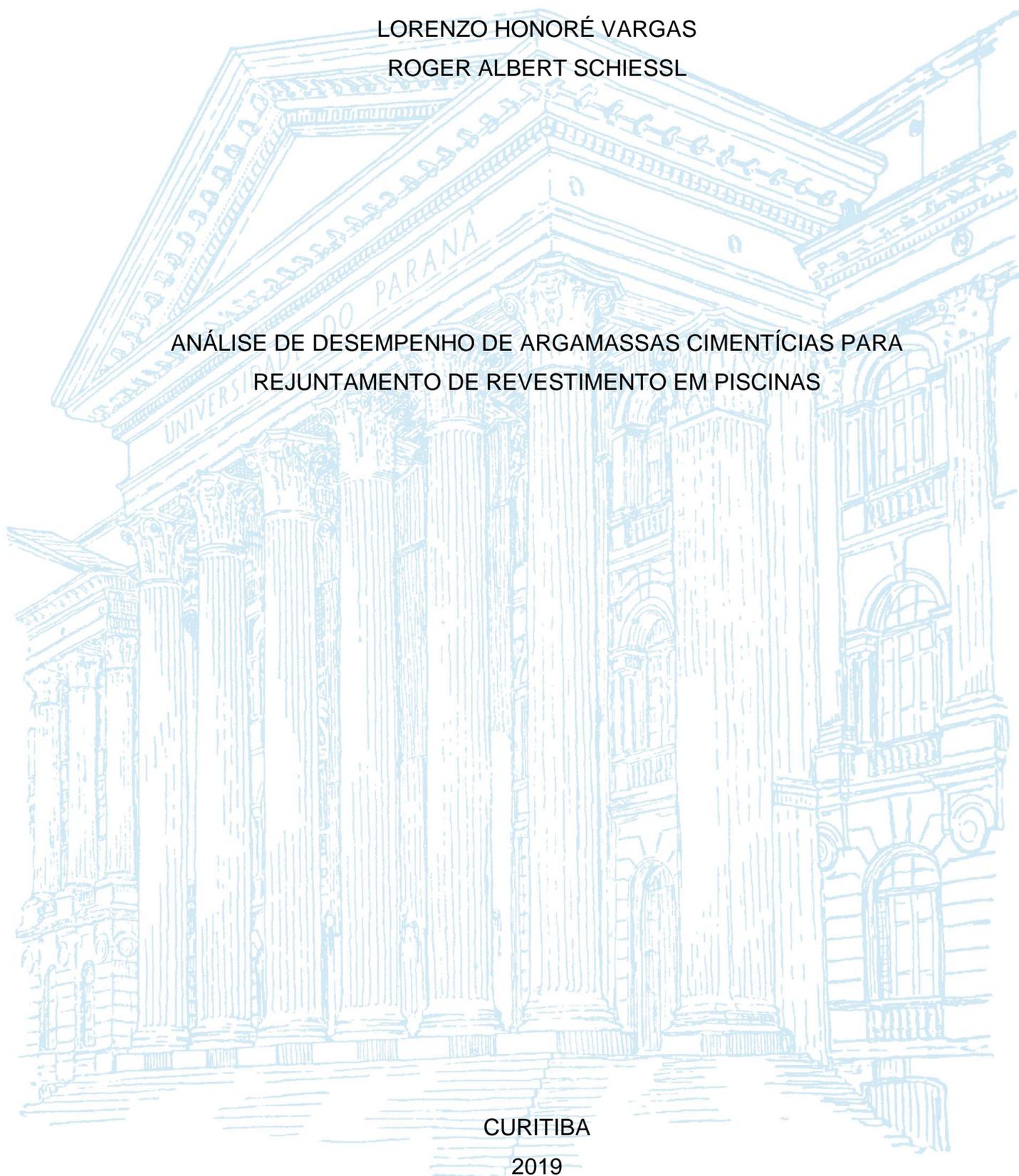
LORENZO HONORÉ VARGAS

ROGER ALBERT SCHIESSL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS PARA
REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTO EM PISCINAS

CURITIBA

2019



GEOVANI GABARDO DIAS PINHEIRO
LORENZO HONORÉ VARGAS
ROGER ALBERT SCHIESSL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS PARA
REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTO EM PISCINAS

Trabalho Final de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Laila Valduga Artigas

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

GEOVANI GABARDO DIAS PINHEIRO

LORENZO HONORÉ VARGAS

ROGER ALBERT SCHIESSL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS PARA REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTO EM PISCINAS

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Profa. Dra. Laila Valduga Artigas

Orientadora – Departamento de Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. José de Almendra Freitas Junior

Departamento de Construção Civil, UFPR

Profa. Dra. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa

Departamento de Construção Civil, UFPR

Curitiba, 04 de dezembro de 2019.

Dedicamos este trabalho a nossos pais e a todos aqueles que nos apoiaram e nos guiaram até esta tão especial etapa de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossa orientadora, Profa. Dra. Laila Valduga Artigas, por todo o suporte que nos forneceu durante a elaboração do presente trabalho.

Agradecemos aos funcionários do Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio durante a execução dos ensaios.

Agradecemos ao Prof. Dr. Marcelo Henrique Farias de Medeiros, pelo compartilhamento de materiais sem os quais a execução dos ensaios não seria possível.

Agradecemos ao Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH) pelo auxílio na análise físico-química das amostras coletadas.

Por fim, agradecemos a todos os nossos familiares, amigos e colegas que, de alguma forma, nos apoiaram e tornaram a conclusão deste trabalho possível.

A mudança não virá se esperarmos por outra pessoa ou outros tempos. Nós somos aqueles por quem estávamos esperando. Nós somos a mudança que procuramos.

(BARACK OBAMA)

RESUMO

O presente trabalho tem como essência a apresentação de um estudo sobre argamassas cimentícias para rejunte de revestimentos cerâmicos em piscinas. O rejuntamento é parte essencial em um sistema de revestimento, e, dessa forma, torna-se importante o uso de uma argamassa de alta qualidade que garanta o atendimento de todos os requisitos de norma. Inicialmente, foi realizado um levantamento de informações a respeito de argamassas para rejunte, do rejuntamento em ambientes de piscina e também das principais manifestações patológicas que ocorrem em rejuntas nesse tipo de ambiente. A partir disso, foram selecionadas quatro amostras de argamassas cimentícias industrializadas para rejunte de revestimento em piscinas, sendo duas delas apenas para rejunte, e outras duas para rejunte e assentamento de placas. Estas amostras foram então submetidas aos ensaios previstos nas normas NBR 14992 e NBR 13279. Após isso, foi feita a análise de amostras de água retiradas de piscina, a fim de verificar a existência de compostos químicos agressivos como os sulfatos, e também foi realizado um ensaio de ataque por sulfatos nas amostras de argamassas já citadas, visando analisar o comportamento destes produtos num ambiente mais agressivo. Ao final do estudo, concluiu-se quanto aos efeitos do teor de sulfato na água da piscina avaliada, que a taxa encontrada, apesar de estar abaixo dos valores limites, não deve ser descartada como possível causa da deterioração no rejunte. Foi constatada a possibilidade da diferença de forma influenciar nos valores de resistência em CP's para as argamassas flexíveis e concluiu-se a utilização da NBR 13279 como uma melhor opção a fim de se padronizar os ensaios de resistência. Quanto à durabilidade por tipo de argamassa (AR ou AC/AR), constatou-se que esta diferenciação não se mostra determinante neste quesito, visto que, para ambos os casos, uma das amostras demonstrou boas características de aplicabilidade, ao passo que a outra não. Para as argamassas testadas, avaliou-se que a maioria delas, com algumas exceções, apresentaram bons resultados quanto ao exigido em norma, com destaque para a argamassa R3 (que mostrou ser a melhor opção para o fim tema do estudo) e também para a argamassa CR2, que obteve resultados satisfatórios em quase todos os ensaios.

Palavras-chave: Argamassa. Rejunte. Piscina. Sulfato. Manifestações patológicas.

ABSTRACT

The present work has as essence the presentation of a study on cement mortars for grouting of ceramic tiles in swimming pools. Grouting is an essential part of the building's coating system, and, therefore, it becomes important to use a high quality mortar to ensure compliance with all standard requirements. Initially, a survey was carried out on mortars for grouting, grouting in pool environments and also on the main pathological manifestations that occur in grouts in this type of environment. From this, four samples of industrialized cementitious pool grouting mortar were selected, two of which were only for grout, and two for grouting and plate laying. These samples were then submitted to tests presented by the NBR 14992 and the NBR 13279. After this, samples of water extracted from a swimming pool were analyzed in order to verify the existence of aggressive chemical compounds such as sulfates, and, also, a sulfate attack test was conducted on the already mentioned mortar samples, aiming to analyze the behavior of these products in a more aggressive environment. At the end of the study, it was concluded, about the effects from the sulfate content on the evaluated pool water, that this concentration, despite being lower than the limit values, must not be discarded as a possible cause to the degradation found on the grout. It was noticed the possibility of geometry differences influencing the test body's resistance values for the flexible mortar and was observed that the NBR13279 fits as a better alternative to standardize the endurance tests; regarding the durability issue by mortar type (AR or AC/AR), it was established that this variable isn't determinant to this subject, once, for both cases, one of the samples showed good characteristics for grouting application, while the other one did not. About the mortar samples tested, it was evaluated that most of them, with some exceptions, showed up good results according to standards requirements, highlighting the R3 sample (which showed itself as the better option to the proposed application) such as the sample CR2, which had satisfactory results in almost all tests.

Keywords: Mortar. Grouting. Swimming Pool. Sulfate. Pathological manifestations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Deterioração em paredes de concreto de uma ETE (KULISCH, 2011)....	30
Figura 2 – Amostra extraída de parede de concreto deteriorada (KULISCH, 2011).	30
Figura 3 – Tira universal de pH após imersão na solução agressiva (Os autores, 2019).....	39
Figura 4 – Resultados do ensaio de retenção de água (Os autores, 2019).	42
Figura 5 – Resultado do ensaio de retenção de água para a amostra R3 (Os autores, 2019).....	42
Figura 6 – Resultados do ensaio de variação dimensional (Os autores, 2019).....	45
Figura 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão – NBR 14992 (Os autores, 2019).....	47
Figura 8 – Comparativo entre resistência à compressão (NBR 14992) e relação água/materiais secos (Os autores, 2019).	48
Figura 9 – Resultados do ensaio de absorção por capilaridade (Os autores, 2019).	50
Figura 10 – Desforma de CP's para o ensaio de permeabilidade (Os autores, 2019).	51
Figura 11 – Execução do ensaio de permeabilidade para a amostra CR1 (Os autores, 2019).....	52
Figura 12 – Resultados do ensaio de absorção por permeabilidade (Os autores, 2019).....	54
Figura 13 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão – NBR 13279 (Os autores, 2019).	56
Figura 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão – NBR 13279 (Os autores, 2019).....	58
Figura 15 - Comparativo entre resistências à compressão para corpos de prova de formatos diferentes (Os autores, 2019).....	59
Figura 16 - Ausência do revestimento em um dos trechos da piscina (Os autores, 2019).....	61
Figura 17 – Presença de manchas no rejunte (Os autores, 2019).	61
Figura 18 – Rejunte em estado de deterioração (Os autores, 2019).....	62
Figura 19 – Variação da expansão média para a amostra CR1 (Os autores, 2019).	68
Figura 20 – Variação da expansão média para a amostra CR2 (Os autores, 2019).	69
Figura 21 – Variação da expansão média para a amostra R3 (Os autores, 2019)....	69

Figura 22 – Variação da expansão média para a amostra R4 (Os autores, 2019)....	70
Figura 23 – Comparativo da evolução da expansão resultante ao longo da etapa de cura final do ensaio de ataque por sulfato de sódio (Os autores, 2019).....	72
Figura 24 – Expansões resultantes aos 42 dias (Os autores, 2019).....	73
Figura 25 – Amostra CR2 em boas condições, utilizada em piscina particular (Os autores, 2019).....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de A.R. e requisitos mínimos (adaptado de ABNT, 2003).	20
Tabela 2 – Amostras de argamassa ensaiadas (Os autores, 2019).....	31
Tabela 3 – Resumo de corpos de prova moldados (Os autores, 2019).	35
Tabela 4 – Traços utilizados (Os autores, 2019).....	41
Tabela 5 – Retenção de água – Resultados (Os autores, 2019).....	42
Tabela 6 – Ensaio de variação dimensional – Medições realizadas (mm) (Os autores, 2019).....	44
Tabela 7 – Variação dimensional – Resultados (Os autores, 2019).....	44
Tabela 8 – Resistência à compressão – NBR 14992 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).....	47
Tabela 9 – Resistência à compressão – NBR 14992 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).....	47
Tabela 10 – Ensaio de capilaridade – Medições realizadas (g) (Os autores, 2019)..	49
Tabela 11 – Absorção por capilaridade – Resultados (g/cm ²) (Os autores, 2019)....	50
Tabela 12 – Ensaio de permeabilidade – Medições realizadas (cm ³) (Os autores, 2019).....	53
Tabela 13 – Permeabilidade – Resultados (cm ³) (Os autores, 2019).....	53
Tabela 14 – Resistência à tração na flexão – NBR 13279 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).....	55
Tabela 15 – Resistência à tração na flexão – NBR 13279 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).....	55
Tabela 16 – Resistência à compressão – NBR 13279 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).....	57
Tabela 17 – Resistência à compressão – NBR 13279 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).....	57
Tabela 18 – Resistência à compressão – NBR 13279 – 2ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).....	58
Tabela 19 – Padrões de potabilidade (adaptado de BRASIL, 2017)	59
Tabela 20 – Resultados da análise físico-química da água de piscina (Os autores, 2019).....	60
Tabela 21 – Ataque por sulfato – Medições – Solução com cal (Os autores, 2019). 63	63

Tabela 22 – Ataque por sulfato – Medições – Solução com com Na ₂ SO ₄ (Os autores, 2019).....	63
Tabela 23 – Expansões individuais e média aos 14 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).....	65
Tabela 24 – Expansões individuais e média aos 28 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).....	65
Tabela 25 – Expansões individuais e média aos 42 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).....	66
Tabela 26 – Expansões individuais e média aos 14 dias – Solução com Na ₂ SO ₄ (Os autores, 2019).....	66
Tabela 27 – Expansões individuais e média aos 28 dias – Solução com Na ₂ SO ₄ (Os autores, 2019).....	67
Tabela 28 – Expansões individuais e média aos 42 dias – Solução com Na ₂ SO ₄ (Os autores, 2019).....	67
Tabela 29 – Expansão resultante das amostras ao longo da etapa de cura final do ensaio de ataque por sulfato de sódio (Os autores, 2019).....	71
Tabela 30 – Compilação de resultados – Argamassas (Os autores, 2019).	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 METODOLOGIA.....	16
1.2.1 Tipo de pesquisa	16
1.2.2 Tratamento dos resultados e descrição do método.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 ARGAMASSAS PARA REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTOS.....	18
2.2 REJUNTAMENTO EM PISCINAS.....	21
2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 MATERIAIS	31
3.2 MÉTODOS	32
3.2.1 Análise das propriedades das argamassas – NBR 14992: 2003	33
3.2.2 Análise das propriedades das argamassas – NBR 13279: 2005	34
3.2.3 Corpos de prova moldados para ensaios das NBR's 14992 e 13279	35
3.2.4 Análise das amostras de água de piscina	36
3.2.5 Análise da resistência das argamassas ao ataque por sulfatos	36
3.2.6 Análise da influência do formato dos corpos de prova na resistência à compressão.....	39
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	41
4.1 ENSAIOS DA NBR 14992.....	41
4.1.1 Ensaio de retenção de água.....	41
4.1.2 Ensaio de variação dimensional.....	43
4.1.3 Ensaio de resistência à tração na flexão	45
4.1.4 Ensaio de resistência à compressão	46
4.1.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade	48
4.1.6 Ensaio de absorção de água por permeabilidade	50
4.2 ENSAIOS DA NBR 13279.....	54
4.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão	54
4.2.2 Ensaio de resistência à compressão	56

4.3 ANÁLISE DA ÁGUA DE PISCINA.....	59
4.3.1 Histórico da piscina da coleta da água	61
4.4 ENSAIOS DA NBR 13583.....	62
4.4.1 Ensaio de resistência ao ataque por sulfato.....	62
4.5 COMPILAÇÃO DE RESULTADOS	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.1 CONCLUSÕES	76
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

Parte do grupo das argamassas, compostos formados basicamente por uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água, as argamassas de rejunte se apresentam como objeto de considerável importância dentro do âmbito da engenharia. “A argamassa para rejunte é um material industrializado cuja finalidade é preencher as juntas de assentamento entre placas cerâmicas e dar um acabamento especial ao sistema de revestimento cerâmico” (WEBER SAINT-GOBAIN, 2019).

Dentro do grupo das argamassas de rejunte, destacam-se os rejuntas para aplicação em piscinas, que se traduzem no foco deste trabalho. Devido a fatores como a necessidade de possuírem alta eficiência na impermeabilização e a exposição a produtos químicos agressivos, esse tipo específico de argamassa de rejunte deve possuir qualidades específicas, de modo a atender aos requisitos solicitados por norma.

A NBR 15575-1: 2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2013) estabelece requisitos para o desempenho de edificações, garantindo que o consumidor esteja assegurado de que, ao comprar um imóvel, estará adquirindo um produto dentro dos padrões de qualidade. Segundo esta norma, o sistema de revestimento externo de uma edificação deve possuir uma vida útil de projeto entre 40% e 80% da vida útil da estrutura, que é de pelo menos 50 anos. Isto resulta numa vida útil mínima que deve estar entre 20 e 40 anos, considerando que haja manutenção preventiva adequada no sistema.

Como parte integrante do sistema de revestimento externo, o rejuntamento do revestimento cerâmico em piscinas deve receber atenção especial, e a escolha da argamassa a ser empregada torna-se essencial, possibilitando que manifestações patológicas sejam evitadas e/ou minimizadas, e, finalmente, que o sistema de revestimento alcance a vida útil exigida pela normatização vigente.

De forma a certificar a qualidade de uma argamassa, também fazem parte da regulamentação vigente normas que apresentam parâmetros específicos a serem atendidos por esses compostos, bem como métodos de avaliação para esses parâmetros. A NBR 14992: 2003 – A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2013) apresenta os requisitos mínimos para argamassas cimentícias de rejunte, bem

como os métodos de ensaio a serem executados para a verificação desses parâmetros, abrangendo propriedades como a retenção de água, variação dimensional, resistência à compressão, entre outros.

Com relação ao foco deste estudo, que são os rejuntamentos em piscina, também há a NBR 10339: 2018 – Piscina – Projeto, execução e manutenção (ABNT, 2018), que fornece as exigências mínimas para o desempenho de piscinas, englobando propriedades que estão diretamente relacionadas à argamassa empregada no rejuntamento do revestimento cerâmico.

Dado o exposto, o presente estudo busca analisar argamassas para rejunte de piscinas provenientes de diferentes fabricantes, verificando as condições de durabilidade destes materiais à luz da normatização vigente, e buscando elucidar causas para o aparecimento de manifestações patológicas em rejuntamentos de piscinas, apontando possíveis relações com os produtos químicos presentes na água.

Para realização dos ensaios, foram selecionadas amostras de 4 argamassas cimentícias industrializadas para rejunte em piscinas, aqui identificadas como argamassas CR1, CR2, R3 e R4. As duas primeiras se enquadram como argamassa colante e de rejunte simultaneamente, enquanto que as restantes apresentam como função apenas o rejuntamento do revestimento.

1.1 OBJETIVOS

Avaliar as possíveis causas que aceleram as recorrentes degradações de argamassas de rejuntas em piscinas, a fim de buscar formas de prolongar a vida útil destes elementos construtivos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho consiste em analisar e determinar a influência dos componentes naturais e químicos presentes na água das piscinas que venham a ser responsáveis pelo processo acelerado de degradação do rejunte.

1.1.2 Objetivos Específicos

Após análises iniciais, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a. Verificação da hipótese de um possível ataque por sulfatos (presentes nos produtos de tratamento da água de piscina) nas argamassas de rejunte que venha a diminuir a durabilidade destas argamassas.
- b. Verificação da influência do excesso de porosidade das argamassas na durabilidade desses materiais.
- c. Apontar possíveis causas da degradação acelerada de rejuntas cimentícios em piscinas

1.2 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo principal a descrição da pesquisa desmembrada nos subitens de tipologia, abrangência e tratamento dos resultados e a própria descrição do método, ou seja, de que forma ocorreu. Estes subitens serão apresentados a seguir.

1.2.1 Tipo de pesquisa

Nesta fase de introdução, a fundamentação teórica como subsídio às etapas seguintes se deu através da familiarização ao tema proposto e interpretação genérica dos itens correlacionados presentes em monografias, que de alguma forma funcionam como base para elaboração deste estudo, portanto, caracterizando uma pesquisa exploratória.

1.2.2 Tratamento dos resultados e descrição do método

Após a execução dos ensaios contemplados pelas normas NBR 14992: 2003 – A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas (ABNT, 2003) e NBR 13279: 2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos (ABNT, 2005), além da NBR 13583: 2014 – Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa

de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio (ABNT, 2014), os dados coletados serão, posteriormente, avaliados de forma tanto quantitativa, através de análises estatísticas sobre os resultados obtidos nos ensaios, quanto qualitativa, por meio de correlações de resultados com informações encontradas nas pesquisas bibliográficas, buscando, assim, credibilizar e embasar as respostas obtidas.

O método de pesquisa ocorreu através da interpretação e extração de dados e inspirações de trabalhos, artigos e publicações em geral com conteúdo e/ou objetivos de mesmo interesse do presente trabalho, objetivando um embasamento para futura execução de ensaios e análise de resultados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este segmento do trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão geral de conhecimentos a respeito do tema desta publicação: as argamassas de rejuntamento para aplicação em piscina. Foram abordadas a composição desse tipo de argamassa, suas características principais e seus tipos de aplicação. Foi dado um enfoque também no ambiente característico das piscinas, apresentando as mais recorrentes manifestações patológicas verificadas nesse tipo de ambiente. O embasamento para esta revisão literária se deu a partir de artigos e publicações realizadas por outros autores, bem como a partir de informações provenientes de normas técnicas relacionadas ao tema e publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.1 ARGAMASSAS PARA REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTOS

Após o assentamento de placas cerâmicas ou de pedra em sistemas de revestimento de edificações, faz-se necessária a execução do rejuntamento dessas placas. O rejuntamento é um processo feito com o intuito de manter a integridade do sistema de revestimento, evitando manchas, infiltrações e descolamento das placas. Trata-se da aplicação de argamassa para efetuar o preenchimento dos vazios entre as placas assentadas. Por se tratar de um material mais flexível, o rejunte acaba absorvendo deformações das placas e aliviando tensões, que são geradas principalmente pela variação térmica, evitando um eventual processo de trincamento das placas, o que colocaria em risco a estanqueidade do revestimento, além de trazer prejuízo estético à edificação. Por outro lado, deve-se ressaltar que “[...] Não é função das juntas, entretanto, absorver deformações exageradas provenientes de outros subsistemas (fluência da estrutura, por exemplo)” (JUNGINGER et. al., 2002).

Para execução do rejunte, existem dois tipos de argamassa que podem ser utilizadas: as cimentícias e as epoxídicas. As argamassas epoxídicas são produzidas a base de resina polimérica e possuem maior resistência a manchas e mofo, além de proporcionar maior facilidade de limpeza do rejunte durante a manutenção. No entanto, sua utilização é bem menos comum que a da argamassa cimentícia, devido à sua difícil aplicação, que exige mão de obra especializada, e, principalmente, ao seu maior custo. Dessa forma, o rejunte epoxídico acaba sendo

mais indicado apenas para áreas molhadas, que oferecem um ambiente muito mais agressivo que as áreas secas, onde as propriedades da argamassa epoxídica efetivamente farão o investimento financeiro valer a pena.

Já com relação às argamassas cimentícias para rejunte, que constituem o foco deste trabalho, a sua composição se dá pela presença, além do cimento Portland, de agregados minerais, polímeros, pigmentos inorgânicos e outros aditivos. Como uma de suas principais vantagens, destaca-se a resistência mecânica. A argamassa cimentícia apresenta uma maior flexibilidade, tendo sua aplicação indicada em juntas de 2 até 10mm, o que não ocorre no caso da epoxídica, que é indicada para juntas de 2 a 6 mm. Por este motivo, o processo de rejuntamento com argamassa a base de cimento é comumente chamado de rejunte flexível. Além disso, trata-se de um produto com utilização muito mais comum que a da argamassa epoxídica, já que apresenta uma aplicação mais facilitada, que não exige mão de obra especializada, e também um custo financeiro menor, apesar de apresentar propriedades inferiores às da epoxídica com relação a estanqueidade. “Embora apresente grande resistência após a cura, (o rejunte cimentício) é mais poroso que o rejunte epóxi, desta forma absorve mais sujeiras e mancha com maior facilidade” (PORTOBELLO REVESTIMENTOS, 2017, p. 11). Este inconveniente pode ser contornado através da utilização de produtos seladores, que podem ser encontrados no mercado e reduzem a permeabilidade do rejunte.

Como citado anteriormente, a regulamentação das argamassas cimentícias para rejunte é feita por norma. A NBR 14992: 2003 – A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2013) classifica este tipo de argamassa em dois tipos:

- AR I: Argamassa para uso em ambiente interno ou externo, desde que o trânsito de pedestres seja não intenso e que as placas cerâmicas apresentem absorção de água acima de 3%. Para ambientes externos, sua aplicação é permitida em paredes de até 18m² e pisos de até 20m² (valores a partir dos quais são necessárias juntas de movimentação).
- AR II: Argamassa para uso em ambiente interno ou externo. Sua aplicação é permitida para as condições detalhadas para AR I, além de poder ser aplicada em local de trânsito de pedestres intenso e/ou com placas que apresentem absorção de água inferior a 3% e/ou em

ambientes externos de qualquer dimensão. Também pode ser aplicada em ambientes com presença de água estancada (piscinas, espelhos d'água, etc).

Para cada tipo de argamassa cimentícia de rejunte, a NBR 14992: 2003 (ABNT, 2003) apresenta valores limites para as suas propriedades e também os procedimentos a serem executados com o objetivo obter essas propriedades a partir de amostras. A Tabela 1, que foi adaptada da própria norma, apresenta estes valores limites.

TIPOS DE A.R. E REQUISITOS MÍNIMOS				
PROPRIEDADE	UNIDADE	IDADE DO ENSAIO	TIPO I	TIPO II
Retenção de água	mm	10 min	≤ 75	≤ 65
Varição dimensional	mm/m	7 dias	≤ 2,00	≤ 2,00
Resistência à compressão	MPa	14 dias	≥ 8,00	≥ 10,00
Resistência à tração na flexão	MPa	7 dias	≥ 2,00	≥ 3,00
Absorção de água por capilaridade	g/cm ²	28 dias	≤ 0,60	≤ 0,30
Permeabilidade	cm ³	28 dias	≤ 2,00	≤ 1,00

Tabela 1 – Tipos de A.R. e requisitos mínimos (adaptado de ABNT, 2003).

Além do atendimento aos requisitos de norma, vale ressaltar que, para o bom desempenho da argamassa de rejunte, é importante que o processo de aplicação seja executado de forma apropriada. Assim, percebe-se que correta especificação do tipo de argamassa a ser aplicada em determinado local, aliada a uma execução realizada por profissionais capacitados e a um plano de manutenção adequado, resulta em probabilidades muito menores de ocorrência de manifestações patológicas no rejunte, e, conseqüentemente, em chances muito maiores de sucesso do sistema de revestimento da edificação.

Estabelecida a classificação das argamassas de rejunte em epoxídicas e cimentícias, também é relevante destacar duas outras classificações. A primeira delas é a diferenciação entre argamassas de rejunte industrializadas e as dosadas em obra. As argamassas dosadas em obra são misturas preparadas com base em um traço pré-estabelecido que apresentam um nível relativamente baixo de homogeneidade, pois ficam sujeitas a um menor controle de qualidade, já que a

qualidade do produto final fica diretamente atrelada à precisão do operador humano. Por outro lado, as argamassas industrializadas passam por um rigoroso processo de controle de qualidade, a fim de atender todos os requisitos de norma, o que resulta num produto final mais homogêneo que vem ganhando cada vez mais espaço tanto em obras de pequeno porte, quanto em obras de grande porte. No caso das argamassas cimentícias, este tipo de produto consiste num composto seco que, ao ser misturado com água, produz uma argamassa de rejunte que já pode ser aplicada no revestimento, fato este que traz diversas vantagens, como maior rapidez de aplicação e maior controle do consumo (menor desperdício de material). Cabe ressaltar que a dosagem de água prevista pelo fabricante deve ser respeitada, de modo a evitar o excesso de porosidade no sistema. Outra vantagem apresentada por esse tipo de produto é o menor espaço necessário para armazenamento em relação ao cimento, cal e areia, que consomem grande espaço de armazenagem. Por fim, também destaca-se como um diferencial deste tipo de produto a presença de inovações tecnológicas na forma de aditivos, que têm como finalidade aprimorar a performance destas argamassas no processo de aplicação e também na sua atuação dentro do sistema de revestimento.

A outra diferenciação dentro do grupo das argamassas de rejunte que merece atenção é a que ocorre entre argamassas apenas para rejunte (AR) e argamassas que funcionam tanto como rejunte quanto como argamassa colante (AC/AR). As argamassas AC/AR possuem propriedades que permitem a sua utilização também no assentamento de placas cerâmicas, o que facilita o trabalho do profissional aplicador, gerando economia de tempo e de ferramentas que seriam utilizadas no caso do preparo de duas argamassas diferentes, uma para o assentamento e outra para o rejunte. Um dos objetivos deste trabalho também é analisar se esta propriedade pode ser um diferencial no quesito durabilidade da argamassa.

2.2 REJUNTAMENTO EM PISCINAS

Como já definido previamente, o rejuntamento nada mais é do que uma mistura de componentes com a finalidade de dar acabamento e conferir determinadas características físicas a todo o sistema de revestimento. Para o caso de rejuntamento em piscinas, que se traduz no foco deste trabalho, uma das

principais e mais importantes dentre estas características é a de prover a adequada estanqueidade de toda a estrutura do tanque e, para que isso ocorra, a utilização tanto dos produtos mais apropriados, quanto das metodologias de execução corretas, são fatores de suma importância.

O sistema de normatizações vigente possui poucas informações ou diretrizes específicas ao sistema de rejuntamento para piscinas em si. A NBR 1575: 2013, referente à termos de desempenho de edificações habitacionais, apenas faz referência à VUP (vida útil de projeto) para a impermeabilização manutenível de piscinas, que deve ter duração entre 20 e 30 anos. Demais documentos, como a NBR 10339: 2018, relacionada a critérios de projetos construtivos de piscinas, também não abrangem o tema específico do rejuntamento da estrutura com grande detalhamento.

Em 2018, após um processo iniciado em 2014 pela Comissão de Estudos Especiais de Piscinas da ABNT, foi publicada uma nova norma técnica unificando diversas outras normas relacionadas ao tema de piscinas. A NBR 10339: 2018 – Piscina – Projeto, execução e manutenção (ABNT, 2018) veio para reunir todos os requisitos relacionados ao tema de piscinas, bem como esclarecer contradições existentes entre as diversas normas anteriores. Apesar de grandes avanços no quesito segurança dos usuários em piscinas, não foram feitas grandes modificações nos requisitos que se relacionam com o rejuntamento. Com isso, essa norma continuou a apresentar as mesmas diretrizes para o revestimento de piscinas estabelecidas pela NBR 9818: 1987 – Projeto de execução de piscina (tanque e área circundante) (ABNT, 1987), que acabou por ser cancelada após o processo de unificação de normas citado anteriormente. Estas diretrizes consistem em algumas considerações sobre o sistema de revestimento do tanque, que deve ser de material não tóxico, quimicamente inerte em relação à água da piscina e aos produtos químicos utilizados no tratamento dela, e que não permita desprendimento de material que possa prejudicar o sistema de tratamento e recirculação dessa água. Além disso, o documento também deixa claro que o sistema de revestimento não deve causar desconforto ou ferimentos aos usuários, além de possibilitar sua limpeza com ferramentas adequadas.

Dessa forma, percebe-se que a escolha da argamassa aplicada no rejunte das placas, assim como o próprio processo de execução do rejunte, tornam-se

essenciais na execução de um sistema de revestimento de piscina eficiente e de acordo com a regulamentação existente.

Segundo informações disponibilizadas pela Weber Saint-Gobain (2019), conhecida fabricante de argamassas, a utilização de argamassas de alto desempenho e boa aderência é fundamental devido a diversos fatores inerentes à construção de uma piscina. Dentre estes fatores, um dos mais preponderantes é o fato de que o ambiente composto pela água da piscina em si se configura como um meio agressivo para argamassas e demais componentes cimentícios.

Como define Maranhão et. al (2007), a água é o agente de degradação mais atuante em função das alterações mecânicas e térmicas que causa nos materiais, além também da alteração na cor de superfícies. Apenas por estar em contato com a água ou umidade, diversas reações degradantes a substratos compostos por materiais aglomerantes, como é o caso das argamassas, podem ser desencadeadas, sendo elas reações como a hidrólise de compostos da pasta, problemas relacionados à expansão, solubilização e transformação de produtos químicos atmosféricos que venham a ser danosos ao rejuntamento (formação de ácidos destrutivos), bem como a dissolução e lixiviação de sais até a superfície, ocasionados pela absorção da água (o que acarreta em degradação estética/superficial e até mesmo mecânica do conjunto).

Aliado a isto, no caso particular da água de piscinas, soma-se o fator extra de agressividade ao rejuntamento causado pelos diversos tipos de tratamentos da água. O tipo de desinfecção mais comum, à base de cloro, é justamente um dos mais danosos para rejuntas de base cimentícia, uma vez que a adição do produto impõe uma alta alcalinidade à água e o ajuste requer uso de ácidos, que em níveis acima de 300 ppm, na água, podem causar deterioração do cimento Portland (Wheat, 2000 e Goldberg, 2002). Portanto, uma vez que a escolha da argamassa para o rejuntamento é de grande dependência da origem da água e dos tratamentos nela utilizados para a sua desinfecção, torna-se razoável concluir que o cuidado na escolha da argamassa a ser utilizada é de grande importância para a sua vida útil, sendo que a consulta a profissionais do ramo é também de grande valia no momento de sua escolha.

Além da consideração da proveniência da água e do seu tipo tratamento, segundo a Weber Saint-Gobain (2019), outros fatores são também de grande importância na escolha da argamassa a ser utilizada, como as constantes

solicitações de pressão (pressões internas provenientes da massa de água, quando a piscina está cheia) e contrapressão (quando a piscina se encontra vazia, em que a massa de solo ao redor da estrutura causa uma pressão que força a parede externa, podendo causar trincas ou rachaduras) que o conjunto de revestimento sofre, além também da possibilidade do desenvolvimento de agentes agressivos bioquímicos (bactérias). Ainda de acordo com a fabricante, se faz recomendável a aplicação da argamassa de rejuntamento, com o auxílio de espaçadores plásticos, para manter a uniformidade de espessura das juntas, 72 horas após a aplicação e assentamento das placas de revestimento com a argamassa colante (todo este processo sob a proteção de uma lona, para impedir a incidência de chuva ou de raios UV que possam vir a comprometer o sistema).

Segundo Junginger e Medeiros (2003), dentre os diversos requisitos de desempenho que um sistema de rejuntamento deve apresentar, o aspecto de maior relevância é a sua capacidade de suportar esforços provenientes das placas cerâmicas e de sua base, proporcionando, desta forma, um alívio das tensões acumuladas sobre o revestimento cerâmico e prolongando sua vida útil. Neste caso, características como a rigidez e a resiliência do rejunte aparecem como fatores determinantes para o bom desempenho. Além disso, características como a flexibilidade e a aderência da argamassa rejuntada estão também intimamente relacionadas, uma vez que o aparecimento de microfissuras por perda de aderência possibilita a penetração de água e demais agentes nocivos tanto no rejunte, quanto nas placas cerâmicas do revestimento.

Ainda segundo Junginger e Medeiros (2003), o nível de eficiência dos rejuntos no exercício de suas funções está proporcionalmente relacionado à grandeza das solicitações às quais o sistema de revestimento cerâmico estará exposto. Exemplificando, uma fachada que recebe constante insolação e está sujeita a ciclos higrotérmicos necessita de uma capacidade de deformação do rejunte muito maior do que o rejuntamento de áreas internas, que sofrem variações dimensionais menos significantes. Desta forma, torna-se plausível concluir que o conhecimento das características da argamassa, de como se dará a sua aplicação e a qual ambiente ela estará exposta são variáveis determinantes na escolha do material a ser utilizado na realização do rejuntamento.

De acordo com resultados obtidos por Paes e Caresek (2001), em estudos de desempenho de argamassas de rejuntamento em sistemas de revestimento

cerâmico, evidenciou-se um melhor desempenho e uma maior estabilidade do conjunto de revestimento através da execução de juntas de assentamento com argamassas de rejuntamento flexível ou em painéis com placas assentadas com maiores espessuras entre as juntas, uma vez que os painéis executados desta forma não apresentaram sintomas de falha de aderência entre cerâmica e substrato e nem fissuração das peças cerâmicas, além de apresentarem os melhores resultados de resistência de aderência. Desta forma, torna-se imprescindível garantir maiores espessuras das juntas de assentamento (para argamassas comuns), ou então utilizar uma argamassa de rejuntamento com baixo módulo de elasticidade.

Junginger e Medeiros (2003) definem também como as funções mais importantes dos rejuntas as seguintes características:

- Auxiliar no desempenho estético do revestimento através de características como a coloração, a textura e o acabamento homogêneo;
- Estabelecer a regularidade superficial;
- Compensar a variação de bitola e facilitar o assentamento das placas (o rejuntamento deve “absorver” a variação dimensional das placas e manter a modularidade do sistema);
- Vedar o revestimento cerâmico, impedindo a passagem de água líquida que venha a levar o surgimento de manchas provenientes da lixiviação, danos por ciclos de secagem/umedecimento, assim como danos por eflorescência, corrosão por peças metálicas e etc;
- Permitir difusão de vapor de água;
- Proporcionar alívio de tensões, atuando como ponto de ligação e transmissão dos diversos elementos que compõem o sistema de revestimento;
- Otimizar a aderência das placas (uma vez que o rejunte está em contato com o fundo da junta, ele acaba por aumentar indiretamente a área de contato das placas com o substrato, gerando um aumento na aderência)

Por fim, apesar de já mencionado anteriormente, vale ressaltar que, para o rejuntamento em piscinas, seguindo o que estabelece a NBR 14992 (ABNT, 2003), o tipo de argamassa a ser utilizado é o tipo II apresentado pela referida norma.

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Ao tratar das manifestações patológicas em fachadas, as causas associadas são resultantes de uma combinação de diversos fatores que podem estar envolvidos, tais como falhas dos materiais, de especificação ou do próprio processo executivo. Silva (2014) destaca as principais manifestações observadas em vedações verticais, que podem incluir falhas estéticas, como é o caso de manchas e eflorescências em placas cerâmicas, e falhas funcionais, que afetam a integridade de algumas partes constituintes do edifício e compreendem trincas, fissuras, destacamento e deslocamento cerâmico.

Direcionando ao foco deste trabalho, Junginger (2016) realizou um estudo de caso que trata especificamente da deterioração precoce de rejunte em piscinas e constatou uma dissolução generalizada somente do rejunte cimentício, sendo que a argamassa de assentamento das pastilhas se manteve íntegra. O rejunte removido in loco passou por análises de resíduo insolúvel, difração de raios X e termogravimetria. A recorrência do problema mesmo após a substituição do produto por outro fornecedor levou o autor a correlacionar, com mais ênfase, os problemas observados às características que envolvem o processo de tratamento da água da piscina.

A NBR 10818: 2016 – Qualidade de água de piscina (ABNT, 2016) indica dois parâmetros que devem ser aplicados para o controle da qualidade da água, sendo eles o pH entre 7,2 e 7,8 e cloro livre entre 0,8 a 3,0 mg/l, e aspectos qualitativos de limpidez e matérias flutuantes. Ou seja, dentro do contexto geral das manifestações patológicas em rejuntas para piscinas deve estar inclusa a análise qualitativa da água, um dos fatores que pode contribuir para o início ou agravamento destes problemas citados, que também podem ocorrer devido a falhas no processo executivo e especificação incorreta dos materiais.

O tratamento das piscinas, segundo Paim et al. (2012), pode ocorrer através da adição de diferentes produtos químicos à água de utilização, tais como cloro, radiação UV, ozônio e sal. Goldberg (2002) ressalta que esta adição de produtos químicos está entre as principais causas dos problemas relacionados à deterioração do rejunte, justamente pelo elevado teor de ácido na mistura que contribui para a deterioração do cimento Portland. Portanto vale ressaltar que os rejuntas à base de cimento Portland devem ter atenção redobrada em termos de tratamento e

manutenção, justamente para evitar ou amenizar os problemas relacionados à sua deterioração.

Como mencionado anteriormente, o tipo de tratamento adotado na água da piscina pode causar deterioração do rejunte cimentício, devido à possibilidade da presença de agentes agressivos na composição do produto empregado. Um dos agentes agressivos passíveis de serem encontrados em processos de tratamento de água de piscinas está representado pelos membros do grupo dos sulfatos, como o sulfato de cobre e o sulfato de alumínio, que são utilizados com diversas finalidades, sendo a prevenção da proliferação de algas a principal delas.

Segundo a Watermelon Malaysia, varejista do ramo de filtração de água e equipamentos para piscinas, o sulfato de alumínio é um floculante em pó branco que, quando aplicado na piscina, agrupa rapidamente as partículas presentes na água, incluindo algas verdes, em partículas grandes o suficiente para que essas algas verdes se depositem no fundo da piscina, facilitando a sua remoção.

Já de acordo com Gratteau (1970 apud ILLINOIS DEPT. OF ENERGY AND NATURAL RESOURCES, 1990), concentrações de sulfato de cobre da ordem de 0,4 ppm (equivalente a 0,4 mg/L) se apresentam como ferramentas eficientes na prevenção da proliferação de algas verdes na água. Kulisch (2011) também cita o sulfato de cobre como um dos principais produtos empregados no tratamento de água, sendo a função algicida o principal motivo de seu emprego.

Outro composto integrante do grupo dos sulfatos empregado no tratamento de água de piscinas é o bissulfato de sódio em pó, produto este que é utilizado com o objetivo de reduzir o pH da água. Segundo a Associação Nacional das Empresas e Profissionais de Piscinas (ANAPP, 2016), uma água com pH alto pode comprometer a eficiência de trocadores de calor, além de causar irritação na pele e olhos dos usuários, e o bissulfato de sódio se apresenta como alternativa eficiente na redução desse parâmetro.

Apesar do seu efeito positivo na manutenção de uma boa qualidade de uso da água da piscina, a utilização de compostos químicos desse tipo pode desencadear degradação do rejunte a partir do momento em que o sulfato reage com os produtos de hidratação do cimento. Segundo Mehta et. al. (2014), o ataque por sulfato pode se manifestar através da ocorrência de expansão e fissuração. Ao fissurar, a estrutura de matriz cimentícia sofre aumento de permeabilidade, facilitando a entrada de água em seu interior, fato este que acelera o processo de

deterioração do material. Além disso, o autor comenta que o ataque por sulfato também pode se manifestar na forma de perda de massa e progressiva diminuição de resistência do material, em consequência da perda de coesão dos produtos de hidratação do cimento gerada pela ação do agente agressivo.

De acordo com Mehta et al. (2014), o processo de expansão nos compostos cimentícios pela ação de sulfatos do meio externo está associada à formação de etringita. Segundo ele, diversas hipóteses a respeito dos mecanismos pelos quais essa formação de etringita ocorre são aceitas, por exemplo, a pressão exercida pelo crescimento dos cristais de etringita ou a adsorção de água em meio alcalino por uma etringita pouco cristalina. Ainda segundo o autor, além de ataque por sulfatos provenientes do meio externo, também existe a possibilidade de ataque químico quando a fonte de íons sulfato é interna, fenômeno este denominado de formação de etringita tardia e que pode ocorrer nos compostos de matriz cimentícia devido a presença de agregado contaminado com gipsita, que é uma forma de sulfato formada a partir de cálcio e enxofre, ou pela utilização de cimento com teor de sulfatos muito elevado.

No caso das piscinas, o Pool Water Treatment Advisory Group (PWTAG, 2011) aponta que, em condições ideais, a concentração de sulfato (expressa na forma de SO_3) na água não deve exceder 300 mg/L (o equivalente a 360 mg/L de SO_4^{2-}). Concentrações superiores de sulfato podem desencadear reação generalizada com materiais que contenham cimento Portland, incluindo o rejunte. Ainda segundo a entidade, nos estágios iniciais, os sinais do ataque por sulfato no ambiente da piscina não são tão aparentes, já que os produtos expansivos gerados acabam preenchendo eventuais fissuras no material. Os sinais só se tornam evidentes após o preenchimento dos poros da estrutura, quando as fissuras começam a se tornar mais visíveis, e quando a reação já está em estágio mais avançado.

Neville (2016) atenta ao fato de que, em áreas de respingo de água, como ocorre em certas regiões das piscinas, a concentração de sulfatos na água pode ser bastante aumentada por conta da evaporação. Tal fenômeno pode potencializar a ação agressiva desses compostos sobre o rejunte cimentício.

Ainda no campo dos compostos de matriz cimentícia sujeitos ao ataque por sulfatos, a NBR 12655: 2015 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2015) estabelece que soluções

com concentrações de SO_4^{2-} da ordem 150 a 1.500 mg/L em contato com o concreto configuram ambiente com condição de agressividade moderada, enquanto que concentrações acima de 1.500 mg/L configuram condição severa de agressividade. No caso de condição de agressividade severa, o documento estabelece a utilização obrigatória de cimentos resistentes a sulfatos.

O Building Code Requirements for Structural Concrete – ACI 318-19 (ACI, 2019) também aponta que uma concentração de 150 mg/L a 1.000 mg/L de SO_4^{2-} em soluções que entrem em contato com o concreto caracteriza o ambiente como moderadamente agressivo. Porém, segundo a norma americana, para concentrações acima de 1.500 mg/L, o ambiente é considerado de agressividade severa, e, para concentrações acima de 10.000 mg/L, o ambiente é considerado de agressividade muito severa.

Kulisch (2011) verificou a ocorrência de grande deterioração das paredes de concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que tinham apenas 15 anos de idade, com a presença de uma concentração média de 45,35 mg/L de SO_4^{2-} na água, valor abaixo da concentração mencionada pelo PWTAG (2011), e bem inferior ao valor das concentrações citadas pela NBR 12655 (ABNT, 2015) e pelo ACI 318-19 (ACI, 2019) para as condições mais críticas de agressividade. Além disso, a autora corroborou a ocorrência da deterioração do concreto através da verificação de coloração amarelada nas paredes, evidenciando a presença de enxofre. Tal situação pode ser verificada na Figura 1 e na Figura 2.



Figura 1 – Deterioração em paredes de concreto de uma ETE (KULISCH, 2011).



Figura 2 – Amostra extraída de parede de concreto deteriorada (KULISCH, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais analisados no desenvolvimento deste trabalho, bem como os métodos de ensaio aplicados, ferramentas e equipamentos utilizados, além das normas técnicas seguidas para embasamento dos procedimentos.

Os procedimentos incluem a análise das propriedades de amostras de quatro tipos de argamassa de rejunte para piscinas, análise da resistência destas amostras ao ataque por sulfatos que podem estar presentes em águas de piscina, além do processo de análise de uma amostra de água retirada de uma piscina.

3.1 MATERIAIS

A respeito dos materiais investigados, foram empregados dois tipos de materiais. O primeiro tipo de material utilizado é representado pelas amostras de argamassa para rejunte em piscinas. Foram empregadas amostras de quatro argamassas industrializadas, sendo duas delas argamassas colantes e de rejunte (AC/AR), e duas delas apenas para rejunte (AR). Essa escolha foi feita no intuito de examinar se essa característica poderia ser identificada como um fator determinante no quesito durabilidade das amostras. A seguir (Tabela 2) estão detalhadas as amostras utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

AMOSTRAS DE ARGAMASSA ENSAIADAS				
PRODUTO	TIPO	COR	QUANTIDADE POR SACO (Kg)	CUSTO (R\$/Kg)
CR1	AC/AR	Branca	20	5,56
CR2	AC/AR	Branca	20	5,25
R3	AR	Branca	5	11,96
R4	AR	Branca	4	7,82

Obs. 1): Custos obtidos no comércio de Curitiba-PR no mês de maio de 2019

Tabela 2 – Amostras de argamassa ensaiadas (Os autores, 2019).

Já o segundo tipo de material é representado pelas amostras de água de piscina analisadas. As duas amostras foram coletadas em um intervalo de uma semana entre uma coleta e outra, e foram empregados os recipientes estéreis

disponibilizados pelo laboratório responsável pela análise. A piscina em questão é uma piscina pública, de uso comum por sócios de um clube recreativo da cidade de Curitiba, e há histórico de degradação do rejunte no tanque.

3.2 MÉTODOS

Para análise das propriedades dos materiais citados na seção anterior, o método escolhido baseou-se, principalmente, em seguir os procedimentos de normas técnicas relacionados ao assunto.

Para análise das propriedades mecânicas das argamassas, foram realizados os ensaios previstos nas normas técnicas NBR 14992: 2003 – A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2003), que tem como foco as argamassas cimentícias para rejuntamento de placas cerâmicas, e também a NBR 13279: 2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005), que apesar de não ter como foco as argamassas de rejunte, apresenta dimensões de corpo de prova para os ensaios de resistência diferentes das previstas na NBR 13279 (ABNT, 2005). Dessa forma, buscou-se comparar os resultados desses ensaios obtidos seguindo os procedimentos de cada norma, visando determinar se o formato e dimensões do corpo de prova impactam de forma significativa a resistência obtida.

Já com relação à análise da resistência das argamassas ao ataque por sulfatos, foi seguido o procedimento previsto na NBR 13583: 2014 – Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio (ABNT, 2014), que busca examinar a resistência química da amostra com base na variação dimensional sofrida quando exposta a uma solução de sulfato de sódio.

Por fim, para análise da composição das amostras de água de piscina, foram determinadas as principais propriedades características da água e, então, estes valores foram comparados com os valores permitidos pela NBR 10818: 2016 – Qualidade de água de piscina (ABNT, 2016), que discorre sobre as condições exigíveis para que a qualidade da água da piscina garanta a sua utilização de forma segura. Os valores obtidos a partir da amostra também foram comparados com os valores previstos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do

Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), que apresenta os padrões aceitáveis para determinação da potabilidade da água.

3.2.1 Análise das propriedades das argamassas – NBR 14992: 2003

Seguindo os procedimentos da NBR 14992 (ABNT, 2003), são previstos 6 tipos de ensaio. O primeiro deles é o ensaio de determinação da retenção de água, que deve ser feito com uma porção de argamassa fresca colocada num copo cilíndrico metálico com diâmetro interno de $42 \pm 0,5$ mm, com $12 \pm 0,5$ mm de altura e espessura da parede de 2 ± 1 mm. O copo deve ser então colocado de boca para baixo sobre uma amostra de papel-filtro por 10 minutos. Passado este tempo, deve-se delimitar o perímetro da mancha de umidade no papel com o auxílio de uma caneta e, então, medir quatro diâmetros ortogonais da mancha com a utilização de um paquímetro. O diâmetro final será a média aritmética dos 4 valores encontrados anteriormente.

O próximo ensaio previsto na norma é o de determinação da variação dimensional, que deve ser feito com corpos de prova prismáticos com dimensões de 25x25x285 mm. Devem ser feitas medições com aparelho comparador previsto na NBR 8490: 1984 – Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – Retração por secagem (ABNT, 1984) após a desforma, 24 horas após a desforma e 7 dias (168 horas) após a desforma. São feitas leituras em todos os lados do corpo de prova, registrando sempre o menor valor encontrado.

Outro ensaio indicado na norma é o de absorção de água por capilaridade, que é feito com corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50x100 mm, que são mantidos sob condição de cura até a data do ensaio, aos 28 dias de idade. Os corpos de prova são, então, pesados ao ar e secos em estufa até a constância de massa (por no mínimo 24h). Após a secagem em estufa, os corpos de prova são pesados e, então, colocados sobre um aparato em um recipiente, de modo que não encostem no fundo do recipiente. Este recipiente é então preenchido com água, de forma que o nível de água permaneça constante a 5 ± 1 mm acima da face em contato com a água. A cada 60 minutos, os CP's devem ser retirados do recipiente, enxugados com pano úmido e pesados, totalizando um período de 300 minutos (5 horas). Ao final do ensaio, a partir dos valores de massa encontrados, obtém-se a absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado.

Também é indicado na NBR 14992 (ABNT, 2003) o ensaio de determinação da permeabilidade, que é realizado com corpos de prova cúbicos com 50 mm de aresta, que são mantidos sob condição de cura até a data do ensaio, aos 28 dias de idade. Após esse período, são fixadas, com selante, sobre os corpos de prova, colunas de vidro com diâmetro interno de base de (28 ± 2) mm e altura máxima de $(200 \pm 0,1)$ mm. Também deve ser fixada uma coluna de vidro sobre uma base de vidro, com a finalidade de ser utilizada como testemunho. Em seguida, as colunas são preenchidas com água, e são feitas medições das alturas aos 60 min, 120 min, 180 min e 240 min. O resultado é o valor lido no corpo-de-prova, subtraindo-se o valor lido no testemunho, no mesmo tempo. Ao final do ensaio, deve ser feita uma média aritmética dos resultados individuais em cada hora, em centímetros cúbicos.

Para o ensaio de resistência a compressão, são utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50x100 mm, que são mantidos sob condição de cura até a data do ensaio, aos 14 dias de idade. Após esse período, os CP's são rompidos em máquina de ensaio de compressão classe II, conforme NBR 6156: 1983 – Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação (ABNT, 1983). Adota-se como resultado o valor de tensão obtido na ruptura do corpo de prova, medido em MPa.

Por fim, é apresentado o ensaio de resistência à tração na flexão, que é realizado com corpos de prova prismáticos com seção quadrada de dimensões 25x25mm e comprimento mínimo de 250mm, que são mantidos sob condição de cura até a data do ensaio, aos 7 dias de idade. Após esse período, os CP's são rompidos em máquina de ensaio de compressão classe II, conforme NBR 6156: 1983 – Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação (ABNT, 1983). Adota-se como resultado o valor de tensão obtido na ruptura do corpo de prova, medido em MPa.

3.2.2 Análise das propriedades das argamassas – NBR 13279: 2005

A partir das orientações estabelecidas pela NBR 13279 (ABNT, 2005), são previstos 2 tipos de ensaio. Um deles é o ensaio de resistência à tração na flexão, que deve ser realizado com corpos de prova prismáticos com dimensões de 40x40x160 mm, que são mantidos sob condição de cura até a data do ensaio, aos 28 dias de idade. Após esse período, os CP's são rompidos em máquina para

ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão no mínimo classe 1, conforme NBR NM ISO 7500-1: 2016 – Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1 (ABNT, 2016). Adota-se como resultado o valor de tensão obtido na ruptura do corpo de prova, medido em MPa.

O outro ensaio apresentado na norma é o de resistência à compressão, que é feito com as metades dos corpos de prova obtidas após o ensaio de resistência à tração na flexão, com dimensões de 40x40x80 mm. Os CP's são rompidos em máquina para ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão no mínimo classe 1, conforme NBR NM ISO 7500-1: 2016 – Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1 (ABNT, 2016). Adota-se como resultado o valor de tensão obtido na ruptura do corpo de prova, medido em MPa.

3.2.3 Corpos de prova moldados para ensaios das NBR's 14992 e 13279

Nesta seção é apresentada uma tabela-resumo de todos os corpos de prova que foram moldados para a realização dos ensaios previstos nas NBRs 14992 e 13279, obedecendo sempre o número mínimo de CP's exigido. São apresentados dados como o número de CP's, as dimensões de cada CP, o formato e a idade da argamassa no momento do ensaio. A tabela é apresentada a seguir.

RESUMO DE CORPOS DE PROVA MOLDADOS							
ENSAIO	IDADE (DIAS)	TIPO DE FORMA	DIMENSÕES (mm)	NÚMERO DE CP'S POR ARGAMASSA			
				CR1	CR2	R3	R4
Varição dimensional - NBR 14992	7	Prismática	25x25x285	3	3	3	3
Absorção de água por capilaridade - NBR 14992	28	Cilíndrica	50x100	3	3	3	3
Permeabilidade - NBR 14992	28	Cúbica	50x50x50	3	3	3	3
Resistência à compressão - NBR 14992	14	Cilíndrica	50x100	4	4	4	4
Resistência à tração na flexão - NBR 14992	7	Prismática	25x25x285	3	3	3	3
Resistência à tração na flexão - NBR 13279	28	Prismática	40x40x160	3	3	3	3
Resistência à compressão - NBR 13279	28	Prismática	40x40x80	6	6	6	6

Tabela 3 – Resumo de corpos de prova moldados (Os autores, 2019).

3.2.4 Análise das amostras de água de piscina

Como já citado anteriormente, as amostras de água de piscina foram ensaiadas a fim de investigar a presença de componentes químicos agressivos que possam deteriorar a argamassa de rejuntamento dentro da piscina. O principal objetivo desta análise é verificar a presença ou não de sulfatos no tipo de tratamento empregado na amostra de água. Os valores obtidos com o ensaio foram então comparados com as principais normatizações vigentes com relação à qualidade de água em piscinas e potabilidade da água.

3.2.5 Análise da resistência das argamassas ao ataque por sulfatos

Com relação à análise da resistência das argamassas de rejunte ao ataque por sulfatos, a NBR 13583: 2014 – Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio (ABNT, 2014) apresenta os procedimentos que foram seguidos durante a realização deste trabalho.

De maneira inicial, a norma prevê instruções para a dosagem da argamassa a ser usada. Porém, como as argamassas escolhidas para a realização dos ensaios são industrializadas, foram seguidas as especificações dos fabricantes para suas devidas dosagens. Em seguida, inicia-se o preparo dos moldes, etapa em que são feitas as determinações de seus comprimentos efetivos, a vedação de suas juntas e linhas de contato, o untamento dos moldes com óleo mineral, assim como a colocação dos pinos de medida. Após isso, procede-se a mistura mecânica, de acordo com o indicado na NBR 7215 (ABNT, 2019). Feitas estas etapas, inicia-se o enchimento dos moldes (que deve ser feita imediatamente após o amassamento e de forma mais rápida possível) e o devido adensamento das camadas de enchimento e o rasamento da camada final.

Assim que preparados os corpos de prova, procede-se o processo de cura deles, onde são submetidos a um período de cura inicial ao ar, a um período intermediário em água saturada com cal e um período final na estufa em água saturada com cal e em solução agressiva de sulfato de sódio. O período de cura inicial ao ar tem início logo após a moldagem, em que os moldes são colocados de 40 a 48 horas em câmara úmida com a face superior protegida de respingos.

Terminado o processo de cura inicial ao ar, parte-se para a cura intermediária em água, na qual os corpos-de-prova, previamente identificados, são retirados de suas formas e imersos, separados entre si, no tanque de água (não corrente) saturada com cal, local em que permanecerão por mais de 12 dias. Finalizado este período, os corpos de prova são retirados do tanque de cura e são efetuadas as leituras iniciais do comprimento de cada barra, com o auxílio de um extensômetro. As medidas (no comparador) dos comprimentos dos corpos-de-prova devem ser feitas girando-os vagarosamente e sempre com a mesma extremidade voltada para cima (anota-se a menor leitura observada).

Efetuada as leituras iniciais, as barras são acondicionadas nos recipientes adequados e levadas às condições de cura final em água saturada com cal e em solução agressiva de sulfato de sódio. As duas séries de 4 corpos de prova, correspondentes a cada amostra ensaiada, são então separadas, destinando-se um grupo para o recipiente contendo água saturada com cal e o outro para um recipiente hermético contendo o volume pré-estabelecido de solução agressiva. Os corpos devem ficar totalmente submersos na solução de cura, assentados sobre apoios de pequenas seções e com uma camada livre de solução superior a 1,5 cm. Após a completa colocação das barras, o recipiente contendo solução de sulfato de sódio deve ser hermeticamente fechado, enquanto que o recipiente contendo água saturada com cal deve ser coberto com filme plástico ou uma tampa. Os recipientes são então levados para estufa, onde ficam por 42 dias sob um regime de temperatura constante de $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Durante o período de cura final, são realizadas três medições dos comprimentos das barras (aos 14, 28 e 42 dias). Após retirados da estufa e de seus respectivos recipientes, os corpos-de-prova devem ser deixados em temperatura ambiente de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ por 10 minutos, para a estabilização da temperatura. Passado este tempo, os corpos são medidos no extensômetro, tendo seus devidos resultados registados, dentro de no máximo 5 minutos.

Para a execução do ensaio de resistência ao ataque por sulfato, as formas utilizadas foram as mesmas empregadas na realização do ensaio de análise de variação dimensional detalhado na NBR 14992 (ABNT, 2013), que fornecem barras com dimensões de 25x25x285 mm. O documento prevê que, por amostra, devem ser moldados 4 corpos de prova para serem inseridos na solução de água saturada com cal, e mais 4 corpos de prova a serem inseridos na solução com sulfato de

sódio, totalizando 8 CP's por cada uma das 4 amostras. Entretanto, para posterior encaixe no pórtico de variação dimensional, é necessário que cada CP possua um pino metálico em cada uma de suas duas extremidades, assim, tornando necessária a quantidade total de 64 pinos metálicos para a realização do ensaio de acordo com a exigência da norma. Devido ao alto custo de aquisição dos pinos metálicos, além da indisponibilidade de tais objetos no LaME, não foi possível obter esta quantidade de pinos. A solução encontrada foi uma parceria com um colaborador externo, que compartilhou 48 pinos metálicos para realização do presente trabalho, possibilitando a moldagem de 6 corpos de prova por amostra. Dessa forma, para cada amostra, foram inseridos 3 CP's na solução de água saturada com cal, e mais 3 CP's na solução com sulfato de sódio.

Inicialmente, foram montadas as formas e inseridos os pinos metálicos. Então, fez-se a medição do comprimento efetivo dos CP's, que, segundo a norma referente ao ensaio, é o comprimento entre as extremidades dos pinos dentro da forma. O valor encontrado foi muito próximo a 250 mm em todas as formas, assim, foi adotado este valor como o comprimento efetivo. Após isso, deu-se início ao processo de mistura das argamassas e preenchimento dos moldes.

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura, que é dividido em 3 etapas, as quais já foram detalhadas anteriormente.

Conforme orientação da norma, para os CP's imersos em água saturada com cal, foram utilizados recipientes plásticos cobertos com filme plástico, a fim de minimizar a evaporação do líquido. Já para os CP's imersos na solução agressiva, foram adquiridos recipientes plásticos herméticos, a fim de evitar a evaporação. Além disso, foram utilizados pequenos apoios plásticos, a fim de que as superfícies inferiores dos CP's também ficassem permanentemente banhadas pela solução.

A solução agressiva foi preparada seguindo as exigências da norma, com a utilização de sulfato de sódio anidro e água destilada, na proporção de 100g de Na_2SO_4 por litro de solução. Além disso, o documento também estabelece que o pH da solução deve estar entre 6,0 e 8,0. Para a verificação desse parâmetro, foram utilizadas tiras universais de pH, que são filtros de papel impregnados por uma mistura de indicadores que apontam a escala do pH através de diferentes cores. A Figura 3 ilustra tal procedimento, no qual se identificou um valor de pH da solução próximo a 7,0.



Figura 3 – Tira universal de pH após imersão na solução agressiva (Os autores, 2019).

3.2.6 Análise da influência do formato dos corpos de prova na resistência à compressão

Mazepa e Rodrigues (2011) realizaram um estudo comparativo entre corpos de prova de concreto cilíndrico e prismático para o ensaio de resistência a compressão axial, e concluíram que existe uma relação potencial entre as amostras cilíndricas e cúbicas, sendo que os resultados da primeira são mais conservadoras, pois atingem uma resistência mais próxima da esperada. Martins (2008) estudou a influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de resistência à compressão, tendo ensaiado 600 corpos de prova de concreto cilíndricos (metade no tamanho 100x200mm e metade no tamanho 150x300mm), entretanto concluiu que não há uma influência significativa deste fator na resistência à compressão dos corpos de prova.

Em se tratando de argamassa, alguns autores, tais como Nalon et al. (2016) e Capraro et al. (2017), estudaram o efeito da forma e do tamanho de diferentes corpos de prova na determinação da resistência da argamassa, e concluíram que de fato existe uma diferença nos valores, que variam conforme o molde utilizado. Nalon et. al (2016), por meio de estudos realizados, verificaram que a resistência à

compressão dos corpos de prova cúbicos (4x4x4cm) mostrou-se superior a dos cilíndricos (10x20cm), porém, ao mesmo passo, inferior a dos cilíndricos (5x10cm).

Capraro et al. (2017), ao realizarem ensaios com amostras cilíndricas, prismáticas e cúbicas, constataram que as amostras cilíndricas (5x5cm e 5x10cm) apresentaram resultados inferiores às prismáticas (4x4x8cm) e às cúbicas (4x4x4cm), e recomendaram que o corpo de prova padrão para o ensaio de compressão axial seja o cúbico de 4x4x4cm.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 ENSAIOS DA NBR 14992

Os ensaios exigidos pela NBR 14992 (ABNT, 2003) foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas (LaME) da Universidade Federal do Paraná de acordo com os requisitos determinados pela referida norma técnica, exceto em alguns casos que serão comentados especificamente em cada ensaio. Os traços de água foram determinados seguindo as especificações dos fabricantes, que são dadas na unidade l/saco, e estão expostos na Tabela 4.

TRAÇOS UTILIZADOS			
PRODUTO	QUANTIDADE POR SACO (Kg)	DOSAGEM DE ÁGUA RECOMENDADA (l/saco)	RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS
CR1	20	5,20	0,26
CR2	20	5,20	0,26
R3	5	1,10	0,22
R4	4	0,90	0,23

Tabela 4 – Traços utilizados (Os autores, 2019).

4.1.1 Ensaio de retenção de água

Devido a indisponibilidade de um copo cilíndrico nas dimensões requisitadas pela norma, o ensaio foi realizado com o copo disponível no LaME, que apresenta dimensões de 4,5 mm para espessura, 88,0 mm para a altura interna e 80,1 mm para o diâmetro interno.

A NBR 14992 (ABNT, 2003) determina que o copo deve apresentar diâmetro interno de 42 mm, e que, para argamassas de rejunte tipo II, o diâmetro molhado ao final do ensaio não deve ser superior a 65 mm. Dessa forma, através de uma aproximação linear, determinou-se que, para o copo disponível no LaME, o diâmetro molhado máximo aceitável seria de 124 mm.

Assim, foi verificado que as amostras CR1, CR2 e R4 apresentaram excelente retenção de água, enquanto que a amostra R3 foi a única que apresentou um diâmetro molhado que se distanciou dos demais. Apesar disso, percebeu-se que

todas as amostras atenderam ao requisito obtido através de aproximação linear. Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 5, Figura 4 e Figura 5.

RETENÇÃO DE ÁGUA - RESULTADOS					
PRODUTO	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D MÉDIO (mm)
CR1	81,49	75,53	82,68	81,21	80,23
CR2	86,32	84,46	83,57	86,13	85,12
R3	110,28	99,01	104,03	102,15	103,87
R4	83,90	77,30	81,00	79,56	80,44

Tabela 5 – Retenção de água – Resultados (Os autores, 2019).

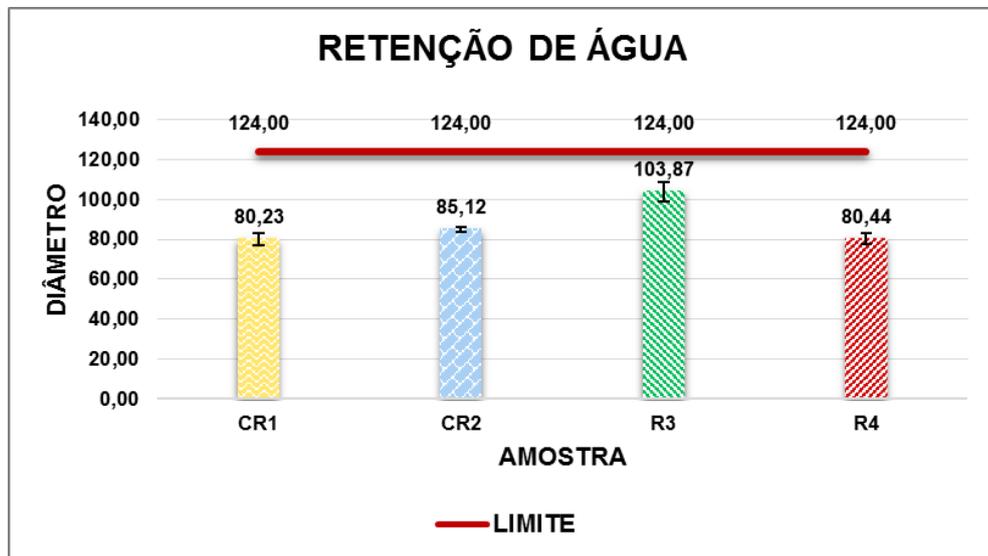


Figura 4 – Resultados do ensaio de retenção de água (Os autores, 2019).



Figura 5 – Resultado do ensaio de retenção de água para a amostra R3 (Os autores, 2019).

4.1.2 Ensaio de variação dimensional

Para o ensaio de variação dimensional, foram utilizadas formas prismáticas metálicas com dimensões de 25x25x285 mm disponíveis no LaME. Após as moldagens, os corpos de prova foram armazenados na câmara seca do LaME, que foi o local que, apesar de apresentar certa variação ao longo do tempo, possuía valores de umidade mais próximos aos exigidos pela norma. Enquanto a norma técnica requisita um ambiente com umidade relativa de $50 \pm 5 \%$ e temperatura de $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, a câmara seca do LaME apresentou, ao longo do ensaio, temperatura em torno de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa em torno de 60%. As medições dos CP's foram feitas com o pórtilco de variação dimensional presente na mesma câmara seca. Observa-se que, devido a um problema de fixação do parafuso na forma, houve quebra de um dos CP's da amostra R3, o que fez com que não fosse possível a obtenção de medições em 3 CP's dessa amostra, mas apenas em 2.

Após as medições, foi utilizada a expressão fornecida pela norma para determinação da retração (no caso de valor negativo) ou expansão (no caso de valor positivo). Esta expressão pode ser verificada na Equação 1, na qual "Ai" é a leitura efetuada na idade "i" (em mm) e "B" é a leitura efetuada na desforma do CP (em mm).

$$\delta i = \frac{A_i - B}{0,25}$$

Equação 1 – Retração ou expansão na idade "i", em milímetros por metro (ABNT, 2003).

A seguir (Tabela 6 e Tabela 7) são apresentados os valores obtidos das medições com o pórtilco de variação dimensional, bem como as médias da variação dimensional de cada amostra. Vale ressaltar que as medições apresentadas na Tabela 6 representam a diferença de tamanho entre cada barra de argamassa medida e a barra metálica padrão que faz parte do pórtilco. Assim, percebe-se que todas as barras de argamassa medidas eram maiores que a barra padrão do aparelho durante todo o decorrer do ensaio. Também é possível perceber que, com o passar do tempo, essa diferença de tamanho vai reduzindo para todos os CP's ensaiados, o que indica ocorrência de retração em todas as amostras.

ENSAIO DE VARIAÇÃO DIMENSIONAL – MEDIÇÕES REALIZADAS (mm)				
PRODUTO	CP	DESFORMA (B)	24h APÓS DESFORMA (A)	168h APÓS DESFORMA (A)
CR1	1	1,772	1,673	1,246
	2	1,634	1,498	1,155
	3	1,524	1,405	0,998
CR2	1	2,197	2,177	1,721
	2	3,940	3,935	3,506
	3	1,973	1,964	1,535
R3	1	2,208	2,094	1,809
	2	0,827	0,762	0,434
	3	---	---	---
R4	1	3,519	3,502	3,142
	2	0,962	0,961	0,588
	3	2,035	2,004	1,683

Tabela 6 – Ensaio de variação dimensional – Medições realizadas (mm) (Os autores, 2019).

VARIAÇÃO DIMENSIONAL - RESULTADOS				
PRODUTO	CP	Δi (mm)		
		24h	168h	MÉDIA (168h)
CR1	1	-0,396	-2,104	-2,041
	2	-0,544	-1,916	
	3	-0,476	-2,104	
CR2	1	-0,080	-1,904	-1,797
	2	-0,020	-1,736	
	3	-0,036	-1,752	
R3	1	-0,456	-1,596	-1,584
	2	-0,260	-1,572	
	3	---	---	
R4	1	-0,068	-1,508	-1,471
	2	-0,004	-1,496	
	3	-0,124	-1,408	

Tabela 7 – Variação dimensional – Resultados (Os autores, 2019).

A NBR 14992 (ABNT, 2003) define que, para a idade de 7 dias (168h), a variação dimensional permitida é de 2 mm (em módulo). Dessa forma, verificou-se que, dentre as amostras ensaiadas, a única que não respeitou o limite determinado por norma foi a amostra CR1, que é do tipo AC/AR e registrou uma variação dimensional de -2,041 mm (retração por secagem). Isto pode ser observado na Figura 6.

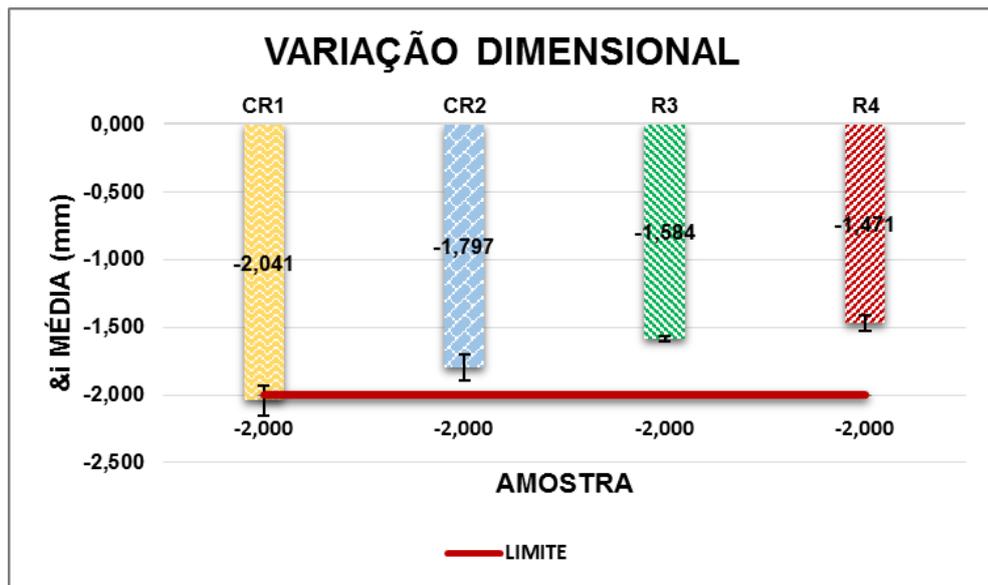


Figura 6 – Resultados do ensaio de variação dimensional (Os autores, 2019).

4.1.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para o procedimento de ensaio de resistência à tração na flexão segundo as orientações da NBR 14992 (ABNT, 2003), devem ser utilizados corpos de prova com seção quadrada de 25x25 mm e comprimento mínimo de 250 mm, sendo necessários, no mínimo, 3 corpos de prova por amostra. Dessa forma, foram moldados CP's com as formas prismáticas de dimensões 25x25x285 mm disponíveis no Laboratório de Materiais e Estruturas (LaME) da Universidade Federal do Paraná.

Entretanto, após a moldagem dos corpos de prova, verificou-se que a prensa disponível no LaME não era compatível dos CP's. A seção dos corpos de prova possuía dimensões menores do que o mínimo exigido pelo equipamento. Assim, não foi possível concluir essa etapa do ensaio.

Devido ao imprevisto mencionado anteriormente, optou-se pelo cancelamento da realização do ensaio, principalmente pelo fato deste parâmetro já

ter sido analisado através de ensaio realizado segundo as orientações da NBR 13279 (ABNT, 2005) e pelo fato das duas normas técnicas solicitarem a utilização de corpos de prova prismáticos, ainda que as dimensões sejam diferentes.

4.1.4 Ensaio de resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão de argamassas para rejuntamento, a NBR 14992 (ABNT, 2003) estabelece a utilização de corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, sendo necessários, no mínimo, 4 corpos de prova por amostra analisada. Assim, optou-se pela utilização das formas metálicas disponíveis no LaME, que apresentam exatamente as dimensões exigidas pela referida norma. Os corpos de prova foram rompidos aos 14 dias de idade, conforme determina a norma, com a utilização da prensa disponível no LaME, que é produzida pela empresa brasileira EMIC.

Segundo o documento, devem ser registradas as resistências individuais, em megapascal, arredondadas ao décimo mais próximo. Em seguida, deve ser calculado o desvio relativo máximo para cada amostra de argamassa ensaiada, que é a diferença entre a média das resistências individuais e a resistência individual que mais se afaste dessa média (para mais ou para menos), dividida pela média das resistências individuais, e multiplicada por 100. Este desvio é expresso como porcentagem e arredondado ao décimo mais próximo. Se este desvio relativo máximo for superior a 6%, deve ser calculada uma nova média, descartando o valor individual mais distante da média anterior. No caso de o desvio relativo máximo permanecer superior a 6%, o ensaio deve ser refeito.

Para o caso analisado, verificou-se que, após o descarte do valor mais discrepante nas amostras que apresentaram desvio relativo máximo superior ao permitido, fato que ocorreu em 3 das 4 amostras ensaiadas, o parâmetro foi atendido. Além disso, todos os valores obtidos foram superiores ao limite mínimo de resistência à compressão apresentado pela NBR 14992 (2003), que é de 10 MPa para argamassas de rejunte do tipo II.

Dessa forma, é possível afirmar que todas as 4 amostras atendem satisfatoriamente à norma técnica em questão. O destaque fica por conta da amostra R4, que apresentou resistência substancialmente superior às outras,

registrando um valor médio de 43,4 MPa. A seguir (Tabela 8, Tabela 9 e Figura 7) são apresentados os resultados alcançados.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 14992: 2003 - DADOS BRUTOS						
PRODUTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – 14 DIAS					
	CP1	CP2	CP3	CP4	MÉDIA	DESVIO RELATIVO MÁXIMO (%)
CR1	23,0	22,2	23,1	24,0	23,1	4,0
CR2	14,2	12,3	14,7	14,8	14,0	12,1
R3	17,6	15,6	17,3	16,6	16,8	7,0
R4	42,0	40,4	45,8	45,2	43,4	6,8

Tabela 8 – Resistência à compressão – NBR 14992 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 14992: 2003 - 1ª CORREÇÃO						
PRODUTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – 14 DIAS					
	CP1	CP2	CP3	CP4	MÉDIA	DESVIO RELATIVO MÁXIMO (%)
CR1	23,0	22,2	23,1	24,0	23,1	4,0
CR2	14,2	---	14,7	14,8	14,6	2,5
R3	17,6	---	17,3	16,6	17,2	3,3
R4	42,0	---	45,8	45,2	44,3	5,3

Tabela 9 – Resistência à compressão – NBR 14992 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).

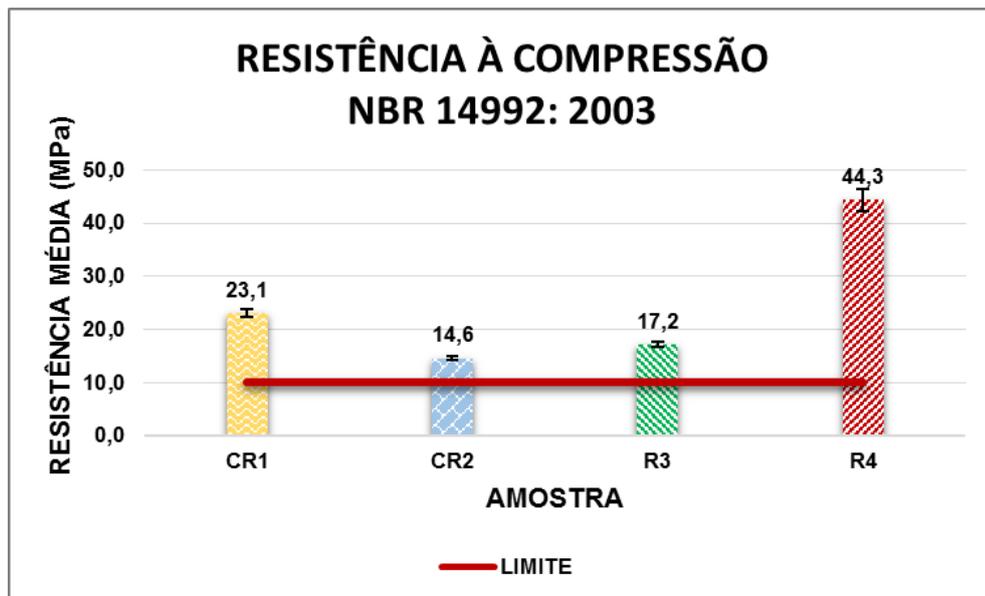


Figura 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão – NBR 14992 (Os autores, 2019).

Além disso, também não se observou influência da relação água/materiais secos sobre a resistência à compressão, conforme observado no gráfico da Figura 8. Não foi possível estabelecer satisfatoriamente uma tendência de efeito da relação água/materiais seco que pudesse resultar em resistências maiores ou menores.

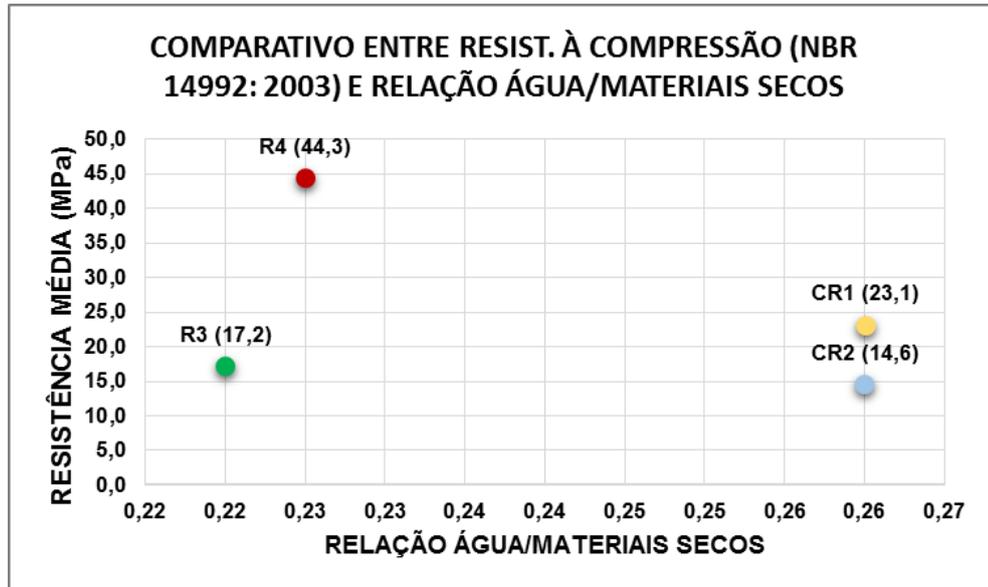


Figura 8 – Comparativo entre resistência à compressão (NBR 14992) e relação água/materiais secos (Os autores, 2019).

4.1.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado a partir da utilização de formas cilíndricas com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura disponíveis no LaME. Após um período de secagem em estufa que durou aproximadamente 25 horas, procedeu-se a execução do ensaio com o auxílio do aparato de absorção presente no LaME.

Após a medição da massa de cada corpo de prova a cada 60 minutos durante 5 horas, foi utilizada a expressão fornecida pela norma para determinação da absorção de água por capilaridade a cada intervalo de tempo, em gramas por centímetro quadrado. A expressão pode ser verificada a seguir (Equação 2), na qual “A” é a massa do corpo de prova medida em cada período de tempo (em gramas), “S” é a área da seção transversal do corpo de prova (equivalente a 19,635 cm²), e “B” é a massa do corpo de prova seco em estufa (em gramas).

$$C = \frac{A - B}{S}$$

Equação 2 – Absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado (ABNT, 2003).

Conforme a NBR 14992 (ABNT, 2003), para argamassas de rejunte tipo II, o limite de absorção de água por capilaridade aos 300 minutos é de 0,3 g/cm². Portanto, nota-se que todas as amostras atenderam ao requisito da norma, exceto a amostra CR1, que registrou uma média de absorção de água por capilaridade de 0,49 g/cm². A seguir (Tabela 10, Tabela 11 e Figura 9) são apresentados os valores registrados durante as medições, assim como os resultados obtidos posteriormente.

ENSAIO DE CAPILARIDADE - MEDIÇÕES REALIZADAS (g)								
PRODUTO	CP	PRÉ-ESTUFA	PÓS-ESTUFA (B)	60 min (A)	120 min (A)	180 min (A)	240 min (A)	300 min (A)
CR1	1	314,89	285,51	290,22	291,86	293,31	294,25	295,22
	2	314,83	284,78	288,68	290,44	292,08	293,14	294,09
	3	313,26	283,90	288,75	290,14	291,38	292,24	293,54
CR2	1	309,05	288,80	291,15	291,82	292,37	292,70	293,04
	2	313,40	292,48	294,35	294,89	295,36	295,74	296,14
	3	314,47	294,12	295,73	296,27	296,75	296,13	297,46
R3	1	373,13	337,10	338,13	338,53	338,82	339,04	339,05
	2	370,27	334,80	335,68	336,04	336,30	336,54	336,68
	3	373,25	338,09	339,00	339,36	339,70	339,94	340,08
R4	1	323,68	302,04	304,04	304,57	305,00	305,30	305,64
	2	322,75	300,83	303,04	303,54	304,05	304,40	304,58
	3	317,65	295,02	298,22	298,53	299,33	299,65	299,99

Tabela 10 – Ensaio de capilaridade – Medições realizadas (g) (Os autores, 2019).

ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE – RESULTADOS (g/cm ²)						
PRODUTO	CP	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min
CR1	1	0,24	0,32	0,40	0,45	0,49
	2	0,20	0,29	0,37	0,43	0,47
	3	0,25	0,32	0,38	0,42	0,49
MÉDIA	---	0,23	0,31	0,38	0,43	0,49
CR2	1	0,12	0,15	0,18	0,20	0,22
	2	0,10	0,12	0,15	0,17	0,19
	3	0,08	0,11	0,13	0,10	0,17
MÉDIA	---	0,10	0,13	0,15	0,16	0,19
R3	1	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10
	2	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10
	3	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10
MÉDIA	---	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10
R4	1	0,10	0,13	0,15	0,17	0,18
	2	0,11	0,14	0,16	0,18	0,19
	3	0,16	0,18	0,22	0,24	0,25
MÉDIA	---	0,13	0,15	0,18	0,19	0,21

Tabela 11 – Absorção por capilaridade – Resultados (g/cm²) (Os autores, 2019).

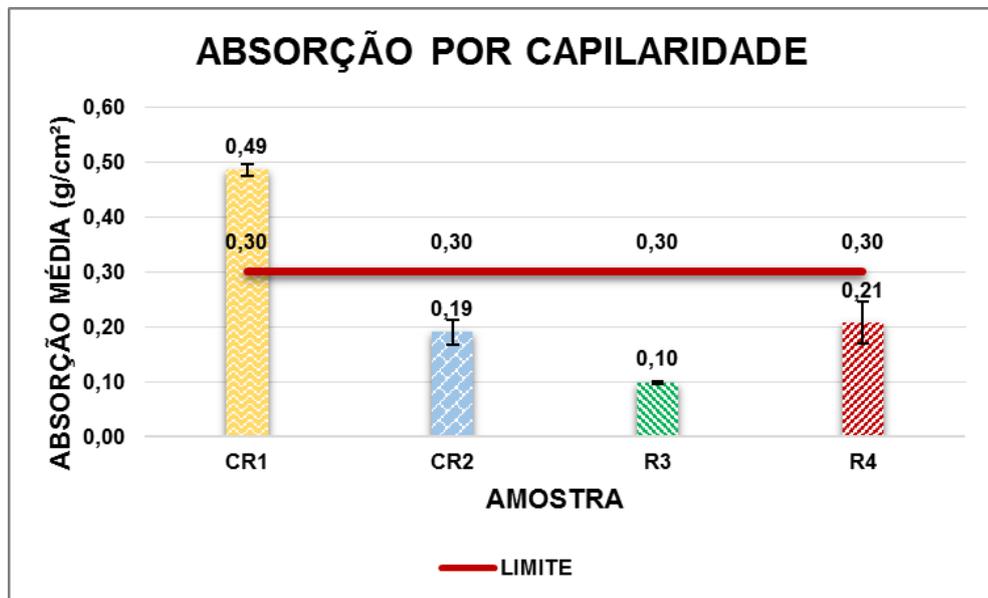


Figura 9 – Resultados do ensaio de absorção por capilaridade (Os autores, 2019).

4.1.6 Ensaio de absorção de água por permeabilidade

Para a realização do ensaio de absorção de água por permeabilidade foi necessária a fabricação de duas formas sob medida de acordo com as dimensões expostas pela NBR 14992 (ABNT, 2003), que requisita corpos de prova cúbicos com

50 mm de aresta. As formas foram confeccionadas em MDF e impermeabilizadas com verniz, a fim de evitar que o MDF absorvesse o desmoldante aplicado na forma e a própria água presente nas amostras de argamassa. Na Figura 10 é possível identificar umas dessas formas, com suas laterais removidas durante o processo de desforma, possibilitando também a visualização dos CP's cúbicos de argamassa no seu interior.

Para a selagem das colunas de vidro sobre os corpos de prova, foi utilizado um selante monocomponente a base de poliuretano. De modo geral, o selante mostrou-se eficiente em sua função, já que houve problema de vazamento da água em apenas um dos CP's dentre os doze ensaiados. Devido ao problema mencionado, esse CP, moldado com argamassa da amostra R3, foi desconsiderado. Na Figura 11 é possível visualizar as colunas de vidro, preenchidas com água destilada, fixadas sobre a base de vidro e sobre os CP's de uma das amostras de argamassa.



Figura 10 – Desforma de CP's para o ensaio de permeabilidade (Os autores, 2019).



Figura 11 – Execução do ensaio de permeabilidade para a amostra CR1 (Os autores, 2019).

Segundo as orientações da NBR 14992 (ABNT, 2003), a partir das medições realizadas, deve-se descontar do valor lido no corpo de prova, o valor lido na coluna de referência (ajustada à placa de vidro), no mesmo tempo. Tal desconto é essencial para que seja minimizada nos resultados obtidos a interferência causada pela evaporação da água.

Então, devem-se registrar as médias individuais, em centímetros cúbicos, com aproximação de $0,1 \text{ cm}^3$. De acordo com a norma, para argamassas de rejunte tipo II, o limite de absorção de água por permeabilidade aos 240 minutos é de $1,0 \text{ cm}^3$. Assim, percebe-se que todas as amostras atenderam ao requisito da norma, sendo que a amostra CR1 apresentou a maior permeabilidade dentre elas.

Na sequência (Tabela 12, Tabela 13 e Figura 12) são apresentadas as medições realizadas e também os resultados obtidos após a execução do ensaio.

ENSAIO DE PERMEABILIDADE – MEDIÇÕES REALIZADAS (cm ³)					
PRODUTO	CP	60 min	120 min	180 min	240 min
CR1	Vidro	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	0,31	0,50	0,63	0,76
	2	0,39	0,59	0,78	0,93
	3	0,31	0,50	0,66	0,80
CR2	Vidro	0,01	0,01	0,02	0,02
	1	0,27	0,39	0,47	0,52
	2	0,22	0,32	0,40	0,46
	3	0,20	0,31	0,39	0,43
R3	Vidro	0,11	0,11	0,12	0,12
	1	0,10	0,12	0,14	0,15
	2	---	---	---	---
	3	0,12	0,14	0,16	0,18
R4	Vidro	0,01	0,01	0,01	0,01
	1	0,30	0,36	0,38	0,50
	2	0,19	0,24	0,28	0,30
	3	0,16	0,21	0,22	0,25

Tabela 12 – Ensaio de permeabilidade – Medições realizadas (cm³) (Os autores, 2019).

PERMEABILIDADE – RESULTADOS (cm ³)					
PRODUTO	CP	60 min	120 min	180 min	240 min
CR1	1	0,31	0,50	0,63	0,76
	2	0,39	0,59	0,78	0,93
	3	0,31	0,50	0,66	0,80
MÉDIA	---	0,3	0,5	0,7	0,8
CR2	1	0,26	0,38	0,45	0,50
	2	0,21	0,31	0,38	0,44
	3	0,19	0,30	0,37	0,41
MÉDIA	---	0,2	0,3	0,4	0,5
R3	1	0,00	0,01	0,02	0,03
	2	---	---	---	---
	3	0,02	0,03	0,04	0,06
MÉDIA	---	0,0	0,0	0,0	0,0
R4	1	0,29	0,35	0,37	0,49
	2	0,18	0,23	0,27	0,29
	3	0,15	0,20	0,21	0,24
MÉDIA	---	0,2	0,3	0,3	0,3

Tabela 13 – Permeabilidade – Resultados (cm³) (Os autores, 2019).

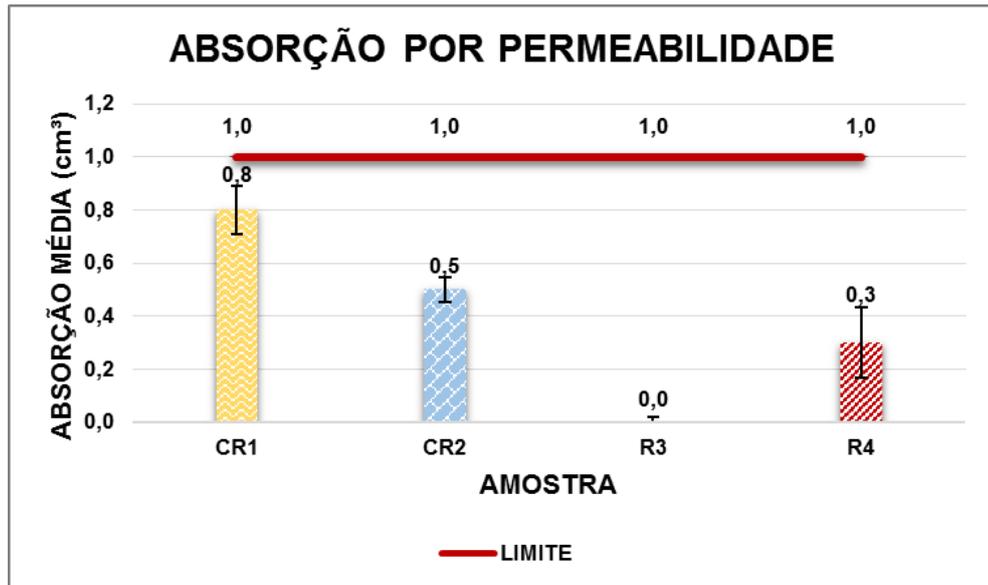


Figura 12 – Resultados do ensaio de absorção por permeabilidade (Os autores, 2019).

4.2 ENSAIOS DA NBR 13279

Os ensaios exigidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005) também foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas (LaME) da Universidade Federal do Paraná e de acordo com os requisitos determinados pela norma em questão. Os traços de água adotados foram os mesmos fornecidos pelos fabricantes e adotados nos ensaios da NBR 14992 (ABNT, 2003).

4.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de determinação da resistência à tração na flexão foi realizado a partir da moldagem de 12 corpos de prova (3 para cada amostra) com dimensões de 40x40x160 mm, e posterior rompimento em prensa disponível no LaME, aos 28 dias de idade.

Segundo a norma, devem ser registradas as resistências individuais, em megapascal, arredondadas ao centésimo mais próximo. Então, deve ser calculado o desvio absoluto máximo para cada amostra de argamassa ensaiada, que é a diferença entre a média das resistências individuais e a resistência individual que mais se afaste dessa média (para mais ou para menos), arredondada ao décimo mais próximo. Se este desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, deve ser calculada uma nova média, descartando o valor individual mais distante da média

anterior. Para que o ensaio seja considerado válido, é necessário que a média seja constituída de pelo menos 2 corpos de prova.

Após a verificação dos resultados brutos, percebeu-se que 3 das 4 amostras ensaiadas excediam o desvio absoluto máximo previsto na norma. Foi então realizada uma correção, descartando o valor mais discrepante de cada uma dessas 3 amostras. Após essa correção, todas as amostras apresentaram valores de desvio absoluto máximo dentro do que é permitido pela norma.

Devido ao fato da NBR 13279 (ABNT, 2005) não apresentar limites mínimos para a resistência da argamassa ensaiada, os resultados do ensaio foram comparados com o limite mínimo de resistência à tração na flexão apresentado pela NBR 14992 (2003), que é de 3 MPa para argamassas de rejunte do tipo II. Com isso, pode-se afirmar que todas as amostras atenderam de forma satisfatória o limite imposto pela referida norma técnica. Os resultados do ensaio são apresentados a seguir (Tabela 14, Tabela 15 e Figura 13).

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - NBR 13279: 2005 - DADOS BRUTOS					
PRODUTO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) – 28 DIAS				
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
CR1	7,02	7,20	7,37	7,20	0,2
CR2	4,18	3,67	3,13	3,66	0,5
R3	3,52	4,89	5,32	4,58	1,1
R4	8,50	7,97	11,09	9,19	1,9

Tabela 14 – Resistência à tração na flexão – NBR 13279 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - NBR 13279: 2005 - 1ª CORREÇÃO					
PRODUTO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) – 28 DIAS				
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
CR1	7,02	7,20	7,37	7,20	0,2
CR2	4,18	3,67	---	3,93	0,3
R3	---	4,89	5,32	5,11	0,2
R4	8,50	7,97	---	8,24	0,3

Tabela 15 – Resistência à tração na flexão – NBR 13279 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).

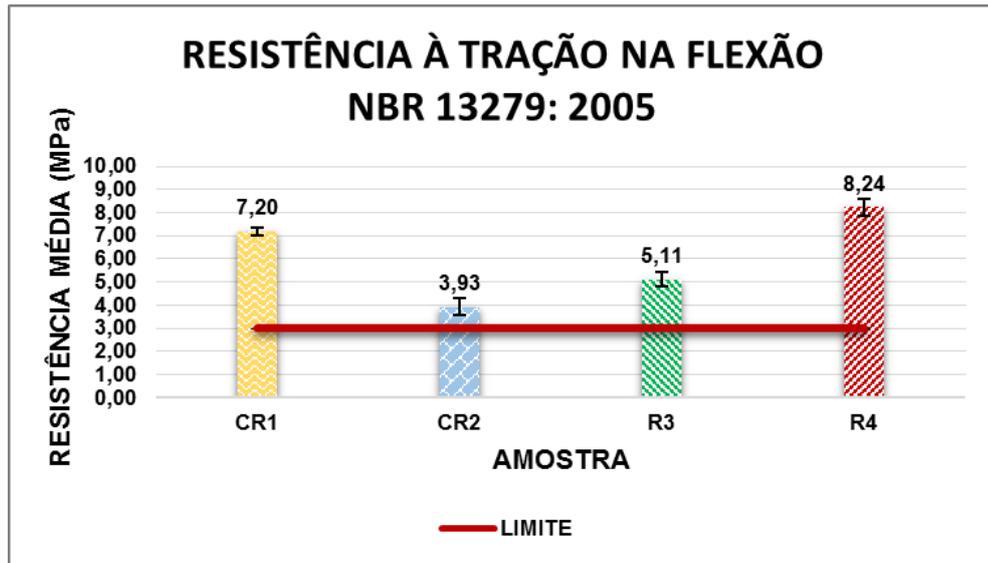


Figura 13 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão – NBR 13279 (Os autores, 2019).

4.2.2 Ensaio de resistência à compressão

Para a execução do ensaio de determinação da resistência à compressão previsto pela NBR 13279 (ABNT, 2005), foram utilizadas as metades dos corpos de prova obtidas ao final do ensaio de determinação da resistência à tração na flexão previsto pela mesma norma técnica já mencionada. Dessa forma, cada corpo de prova utilizado no ensaio anterior originou 2 novos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão, ou seja, foram ensaiados, no total, 24 corpos de prova (6 para cada amostra) com base de 40x40 mm e aproximadamente 80 mm de comprimento. Assim como no ensaio de resistência à tração na flexão, os corpos de prova foram rompidos aos 28 dias de idade, sendo utilizada para tal a mesma prensa já mencionada na seção anterior.

Conforme determinação da norma técnica em questão, devem ser registradas as resistências individuais, em megapascal, arredondadas ao centésimo mais próximo. Então, deve ser calculado o desvio absoluto máximo para cada amostra de argamassa ensaiada, que é a diferença entre a média das resistências individuais e a resistência individual que mais se afaste dessa média (para mais ou para menos), arredondada ao décimo mais próximo. Se este desvio absoluto máximo for superior a 0,5 MPa, deve ser calculada uma nova média, descartando o valor individual mais distante da média anterior. Para que o ensaio seja considerado válido, é necessário que a média seja constituída de pelo menos 4 corpos de prova.

Após a análise das resistências individuais, verificou-se que todas as amostras excediam o desvio absoluto máximo previsto na norma. Foi então realizada uma correção, descartando o valor mais discrepante de cada amostra. Como a situação de incompatibilidade com o desvio máximo previsto na norma permaneceu, efetuou-se uma segunda correção, a qual resultou em desvios máximos dentro do limite previsto.

Ao analisar os dados finais do ensaio, é possível perceber que, assim como no ensaio de resistência à compressão apresentado pela NBR 14992 (ABNT, 2003), a amostra R4 apresentou novamente valores muito superiores de resistência em relação às outras. Como a NBR 13279 (ABNT, 2005) não apresenta valores mínimos para a resistência da argamassa, os valores obtidos foram comparados com o limite mínimo de resistência à compressão apresentado pela NBR 14992 (2003), que é de 10 MPa para argamassas de rejunte do tipo II. Com isso, verifica-se que todas as amostras ensaiadas atenderam ao limite fornecido pela norma. Os resultados do procedimento são apresentados a seguir (Tabela 16, Tabela 17, Tabela 18 e Figura 14).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 13279: 2005 - DADOS BRUTOS								
PRODUTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – 28 DIAS							DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	MÉDIA	
CR1	23,70	21,28	24,88	22,67	23,25	23,17	23,16	1,9
CR2	13,42	13,93	14,52	14,47	14,15	12,38	13,81	1,4
R3	14,00	14,86	15,63	14,45	13,92	15,87	14,79	1,1
R4	43,34	41,18	38,98	39,40	39,55	38,77	40,20	3,1

Tabela 16 – Resistência à compressão – NBR 13279 – Dados Brutos (MPa) (Os autores, 2019).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 13279: 2005 - 1ª CORREÇÃO								
PRODUTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – 28 DIAS							DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	MÉDIA	
CR1	23,70	---	24,88	22,67	23,25	23,17	23,53	1,3
CR2	13,42	13,93	14,52	14,47	14,15	---	14,10	0,7
R3	14,00	14,86	15,63	14,45	13,92	---	14,57	1,1
R4	---	41,18	38,98	39,40	39,55	38,77	39,58	1,6

Tabela 17 – Resistência à compressão – NBR 13279 – 1ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 13279: 2005 - 2ª CORREÇÃO								
PRODUTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – 28 DIAS							DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	MÉDIA	
CR1	23,70	---	---	22,67	23,25	23,17	23,20	0,5
CR2	---	13,93	14,52	14,47	14,15	---	14,27	0,3
R3	14,00	14,86	---	14,45	13,92	---	14,44	0,5
R4	---	---	38,98	39,40	39,55	38,77	39,18	0,4

Tabela 18 – Resistência à compressão – NBR 13279 – 2ª Correção (MPa) (Os autores, 2019).

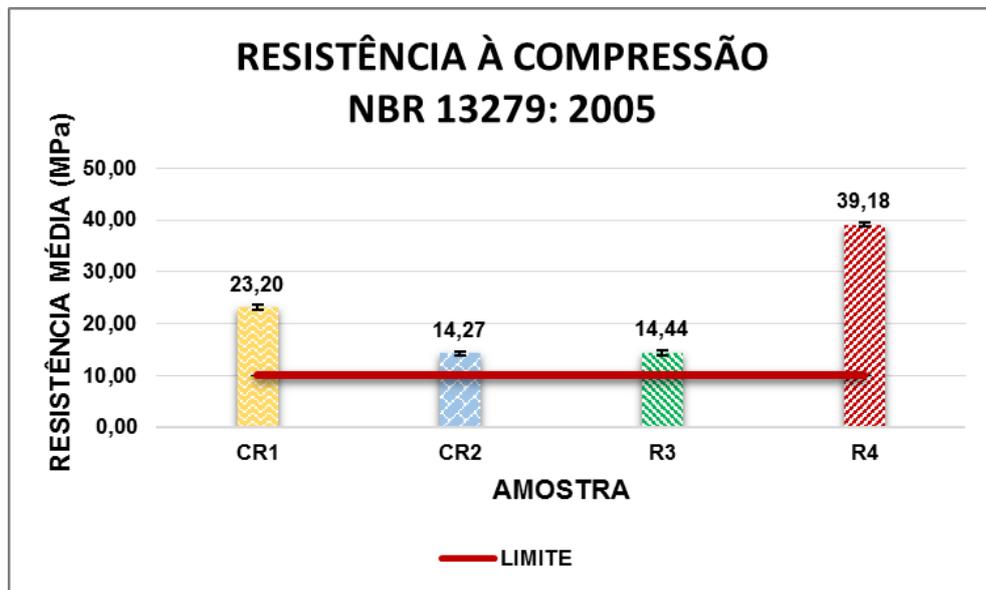


Figura 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão – NBR 13279 (Os autores, 2019).

Como forma de comparação, a Figura 15 representa as resistências para os corpos de prova com formato diferente (cilíndrico e prismático). Observa-se que para as argamassas colante e de rejunte, não teve diferença significativa nos valores do ensaio, enquanto que para as argamassas de rejunte, as amostras cilíndricas apresentaram valores de resistência à compressão superiores às prismáticas.

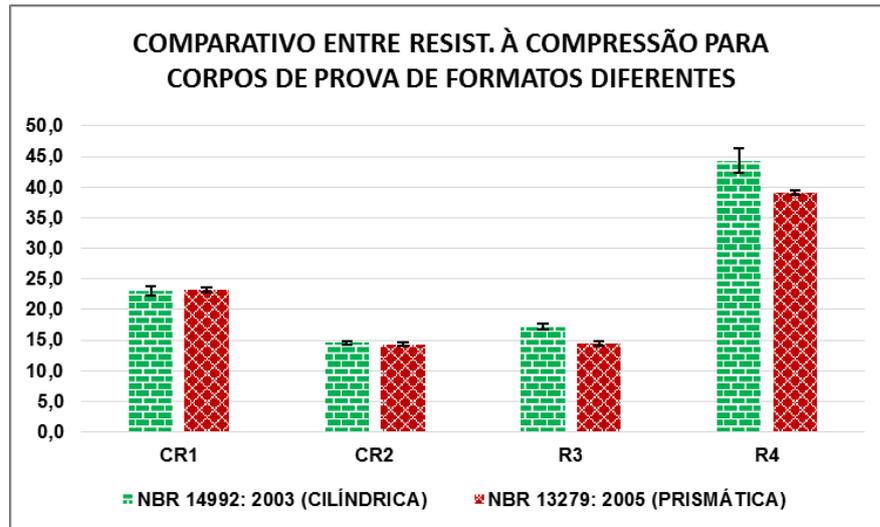


Figura 15 - Comparativo entre resistências à compressão para corpos de prova de formatos diferentes (Os autores, 2019).

4.3 ANÁLISE DA ÁGUA DE PISCINA

De acordo com a NBR 10818: 2016 – Qualidade de água de piscina (ABNT, 2016), a concentração de cloro livre na água do tanque deve estar entre 0,8 mg/L e 3,0 mg/L. Além disso, o pH da água deve estar compreendido entre os valores de 7,2 e 7,8.

Já a Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) aponta uma série de requisitos a serem atendidos pela água para que seja considerada potável. Alguns dos principais requisitos listados pelo documento são expostos na Tabela 19.

PADRÕES DE POTABILIDADE	
PARÂMETRO	REQUISITO
pH	$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$
TURBIDEZ ¹	$\leq 0,5 \text{ uT}$ em 95% das amostras
TURBIDEZ ²	$\leq 1,0 \text{ uT}$ em 95% das amostras
DUREZA TOTAL	$\leq 500 \text{ mg/l}$
CLORETO	$\leq 250 \text{ mg/l}$
SULFATO	$\leq 250 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$
FERRO	$\leq 0,3 \text{ mg/l}$

Obs. 1): Considerando tratamento por filtração rápida

Obs. 2): Considerando tratamento por filtração lenta ou desinfecção de águas subterrâneas

Tabela 19 – Padrões de potabilidade (adaptado de BRASIL, 2017)

Após a análise das duas amostras de água coletadas de uma piscina onde há histórico de deterioração do rejunte, processo realizado pelo Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH), que adota padrões de ensaio baseados na bibliografia “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017”, os laudos fornecidos apontaram os seguintes resultados (Tabela 20).

RESULTADOS DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE PISCINA							
AMOSTRA	pH	TURBIDEZ (UT)	DUREZA TOTAL (mg/l)	CLORETO (mg/l)	CLORO RESIDUAL LIVRE (mg/l)	FERRO TOTAL (mg/l)	SULFATO (mg/l SO ₄ ²⁻)
1	7,58	≤0,2	44,88	149,20	3,65	≤0,01	14,00
2	7,39	≤0,2	43,00	193,00	4,04	≤0,01	17,00
MÉDIA	7,49	≤0,2	43,94	171,10	3,85	≤0,01	15,50

Tabela 20 – Resultados da análise físico-química da água de piscina (Os autores, 2019).

Ao analisar os dados obtidos, percebe-se que, com relação aos requisitos da NBR 10818 (ABNT, 2016), o valor de pH encontrado para as amostras está em conformidade com o permitido, porém, a concentração de cloro livre está acima do permitido. Como já mencionado anteriormente, o tratamento da água com cloro pode ser uma das causas de degradação em rejuntas de piscina, entretanto o valor médio encontrado nas amostras está bem abaixo do teor de 300 ppm (equivalente a 300 mg/L) proposto por Wheat (2000) e Goldberg (2002), concentração acima da qual poderia ocorrer deterioração do rejunte cimentício.

Já com relação aos requisitos da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), verifica-se que todos os requisitos foram atendidos pelas amostras. O valor de sulfato encontrado fica abaixo do valor encontrado por Kulisch (2011) em ambiente com paredes de concreto degradadas pela ação de sulfatos (45,35 mg/L), e bem abaixo dos valores citados pelo ACI 318-19 (2019), pela NBR 12655 (2015) e pelo PWTAG (2011) para ocorrência de degradação pela ação de sulfatos.

Marczynski (2018) encontrou um valor de sulfato também dentro da faixa tolerada pela Portaria de Consolidação nº5 (BRASIL, 2017), para a água de uma piscina particular com rejunte deteriorado. Entretanto apontou como uma das causas para possível degradação do rejunte em análise, a alta presença de cloretos (362,50 mg/l), sendo este também um importante fator de análise, tendo em vista que até mesmo em pequenas quantidades pode representar alta agressividade.

4.3.1 Histórico da piscina da coleta da água

A coleta das amostras de água para os ensaios, cujos resultados estão apresentados na seção 4.3, ocorreu em uma piscina pública na cidade de Curitiba, que passou por uma etapa de recuperação total do rejunte, deteriorado, em janeiro de 2019. A situação da piscina no momento dos reparos pode ser observada nas imagens a seguir (Figura 16, Figura 17 e Figura 18).



Figura 16 - Ausência do revestimento em um dos trechos da piscina (Os autores, 2019).



Figura 17 – Presença de manchas no rejunte (Os autores, 2019).



Figura 18 – Rejunta em estado de deterioração (Os autores, 2019).

A argamassa utilizada na recuperação da piscina foi a R3, um dos motivos pelos quais ela foi escolhida para a realização dos ensaios e posteriormente analisada. Devido ao fato da piscina ser pública e receber um grande número de pessoas frequentemente, aliado à hipótese de que o aquecimento da água tende a contribuir para a aceleração da deterioração do rejunte, tendo em vista que o calor atua como um catalisador, a piscina passa por manutenções mais frequentes.

4.4 ENSAIOS DA NBR 13583

Com relação à NBR 13583 (ABNT, 2014), assim como no caso dos ensaios anteriores, a realização do ensaio contemplado por tal norma técnica foi feita nas dependências do LaME. Novamente, foram adotados os traços de água especificados por cada fabricante nas embalagens das amostras.

4.4.1 Ensaio de resistência ao ataque por sulfato

Após a imersão dos corpos de prova em suas devidas soluções, todos eles foram levados a uma estufa com temperatura constante de 40 °C, conforme norma, onde permaneceram por um período total de 42 dias. Durante esse período, foram realizadas medições de todos os CP's nas idades de 14, 28 e 42 dias (contados a partir do início da etapa de cura final) com o auxílio do pórtilho de variação dimensional. Tais medições são apresentadas na Tabela 21 e na Tabela 22, que são

valores em referência ao comprimento da barra de comparação presente no pórtico. Vale ressaltar que, durante o processo de desforma, houve quebra de um dos corpos de prova referentes a amostra CR2 e que seria destinado à solução de água saturada com cal. Dessa forma, foram efetuadas as medições em apenas 2 CP's.

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O PÓRTICO DE VARIAÇÃO DIMENSIONAL (mm) - SOLUÇÃO COM CAL					
PRODUTO	CP	LEITURA INICIAL	CURA FINAL - 14 DIAS	CURA FINAL - 24 DIAS	CURA FINAL - 42 DIAS
CR1	1	3,343	3,383	3,516	3,465
	2	2,585	2,674	2,839	2,872
	3	3,909	3,965	4,062	4,032
CR2	1	1,926	1,963	1,971	1,964
	2	5,557	5,566	5,741	5,701
	3	---	---	---	---
R3	1	4,823	4,895	4,952	4,882
	2	2,522	2,613	2,662	2,623
	3	4,285	4,442	4,648	4,588
R4	1	3,426	3,530	3,623	3,584
	2	3,814	3,912	4,072	4,213
	3	0,893	0,961	1,054	1,256

Tabela 21 – Ataque por sulfato – Medições – Solução com cal (Os autores, 2019).

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O PÓRTICO DE VARIAÇÃO DIMENSIONAL (mm) - SOLUÇÃO COM Na₂SO₄					
PRODUTO	CP	LEITURA INICIAL	CURA FINAL - 14 DIAS	CURA FINAL - 24 DIAS	CURA FINAL - 42 DIAS
CR1	1	0,895	1,180	1,554	1,736
	2	2,610	2,904	3,286	3,453
	3	1,292	1,553	2,068	2,231
CR2	1	0,769	0,954	0,857	0,777
	2	0,893	1,085	1,189	1,159
	3	3,057	3,251	3,268	3,378
R3	1	1,628	1,730	1,768	1,755
	2	1,629	1,710	1,937	1,924
	3	0,898	0,879	1,064	0,992
R4	1	1,107	2,326	3,789	4,028
	2	1,671	2,784	4,206	4,725
	3	3,318	4,379	5,879	6,327

Tabela 22 – Ataque por sulfato – Medições – Solução com com Na₂SO₄ (Os autores, 2019).

Após o levantamento de todos os dados referentes às medições dos CP's com o pórtilo de variação dimensional, deu-se início ao cálculo das expansões individuais e expansões médias das amostras. De acordo com a NBR 13583 (ABNT, 2014), a expansão individual para cada corpo de prova, em cada idade de medição, é dada pela seguinte fórmula (Equação 3), onde “ ΔL ” representa a expansão individual, em porcentagem. As variáveis “ L_x ”, “ L_i ” e “ L_{ef} ” representam, respectivamente, o valor medido na idade em questão, o valor medido no início da etapa de cura final, e o comprimento efetivo determinado no início do ensaio.

$$\Delta L = \frac{L_x - L_i}{L_{ef}} * 100$$

Equação 3 – Expansão individual das amostras, em porcentagem (ABNT, 2014).

Calculadas as expansões médias, deve-se então calcular as expansões médias para cada amostra. Segundo a norma, para expansões de até 0,020%, se a diferença entre um valor de expansão individual e a expansão média for superior a 0,003%, ele deve ser desconsiderado e uma nova média deve ser calculada. Já para expansões superiores a 0,020%, se a diferença entre um valor de expansão individual e a expansão média for superior a 15% do valor da média, uma nova média deve ser calculada desconsiderando este valor de expansão individual. Seguindo esses critérios, os valores de expansão individual e média obtidos foram os seguintes (Tabela 23 a Tabela 28). Vale ressaltar que, como a amostra CR2 só possuía 2 CP's em água saturada com cal, para esta amostra, nesta condição de imersão, entendeu-se que era prudente a desconsideração dos critérios anteriores.

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 14 DIAS - SOLUÇÃO COM CAL			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,016	0,019
	2	Descartado	
	3	0,022	
CR2	1	0,015	0,009
	2	0,004	
	3	---	
R3	1	0,029	0,033
	2	0,036	
	3	Descartado	
R4	1	0,042	0,036
	2	0,039	
	3	0,027	

Tabela 23 – Expansões individuais e média aos 14 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 28 DIAS - SOLUÇÃO COM CAL			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,069	0,065
	2	Descartado	
	3	0,061	
CR2	1	0,018	0,046
	2	0,074	
	3	---	
R3	1	0,052	0,054
	2	0,056	
	3	Descartado	
R4	1	0,079	0,072
	2	Descartado	
	3	0,064	

Tabela 24 – Expansões individuais e média aos 28 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 42 DIAS - SOLUÇÃO COM CAL			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,049	0,049
	2	Descartado	
	3	0,049	
CR2	1	0,015	0,036
	2	0,058	
	3	---	
R3	1	0,024	0,032
	2	0,040	
	3	Descartado	
R4	1	Descartado	0,152
	2	0,160	
	3	0,145	

Tabela 25 – Expansões individuais e média aos 42 dias – Solução com cal (Os autores, 2019).

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 14 DIAS - SOLUÇÃO COM Na ₂ SO ₄			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,114	0,112
	2	0,118	
	3	0,104	
CR2	1	0,074	0,076
	2	0,077	
	3	0,078	
R3	1	0,041	0,022
	2	0,032	
	3	-0,008	
R4	1	0,488	0,452
	2	0,445	
	3	0,424	

Tabela 26 – Expansões individuais e média aos 14 dias – Solução com Na₂SO₄ (Os autores, 2019).

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 28 DIAS - SOLUÇÃO COM Na₂SO₄			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,264	0,281
	2	0,270	
	3	0,310	
CR2	1	0,035	0,079
	2	0,118	
	3	0,084	
R3	1	0,056	0,082
	2	0,123	
	3	0,066	
R4	1	1,073	1,037
	2	1,014	
	3	1,024	

Tabela 27 – Expansões individuais e média aos 28 dias – Solução com Na₂SO₄ (Os autores, 2019).

EXPANSÕES INDIVIDUAIS E MÉDIA AOS 42 DIAS - SOLUÇÃO COM Na₂SO₄			
PRODUTO	CP	EXPANSÃO INDIVIDUAL (%)	EXPANSÃO MÉDIA (%)
CR1	1	0,336	0,350
	2	0,337	
	3	0,376	
CR2	1	Descartado	0,117
	2	0,106	
	3	0,128	
R3	1	0,051	0,069
	2	0,118	
	3	0,038	
R4	1	1,168	1,198
	2	1,222	
	3	1,204	

Tabela 28 – Expansões individuais e média aos 42 dias – Solução com Na₂SO₄ (Os autores, 2019).

A seguir (Figura 19 a Figura 22), são apresentados os gráficos de variação da expansão média para cada amostra ao longo da etapa de cura final do ensaio, tanto para os CP's que ficaram imersos na água saturada com cal, quanto para os CP's imersos na solução agressiva. Fica evidente que as barras de argamassa que ficaram expostas à solução com sulfato de sódio apresentaram variação dimensional

consideravelmente maior que aquela apresentada pelas barras que foram expostas apenas à solução com cal. Além disso, também é possível perceber que, com exceção da amostra R4, que apresentou expansão média crescente ao longo de toda a etapa de cura final, todas as outras amostras apresentaram oscilação nesse aspecto, certas vezes exibindo decréscimo da expansão média de uma idade de medição para a seguinte.

Ainda analisando a expansão média das amostras, nota-se que a amostra R4 foi a que apresentou maior distância entre os valores obtidos para as barras imersas na solução com cal e os valores obtidos para as barras imersas na solução agressiva, alcançando em uma expansão 14 vezes maior na solução agressiva, para a idade de 28 dias.

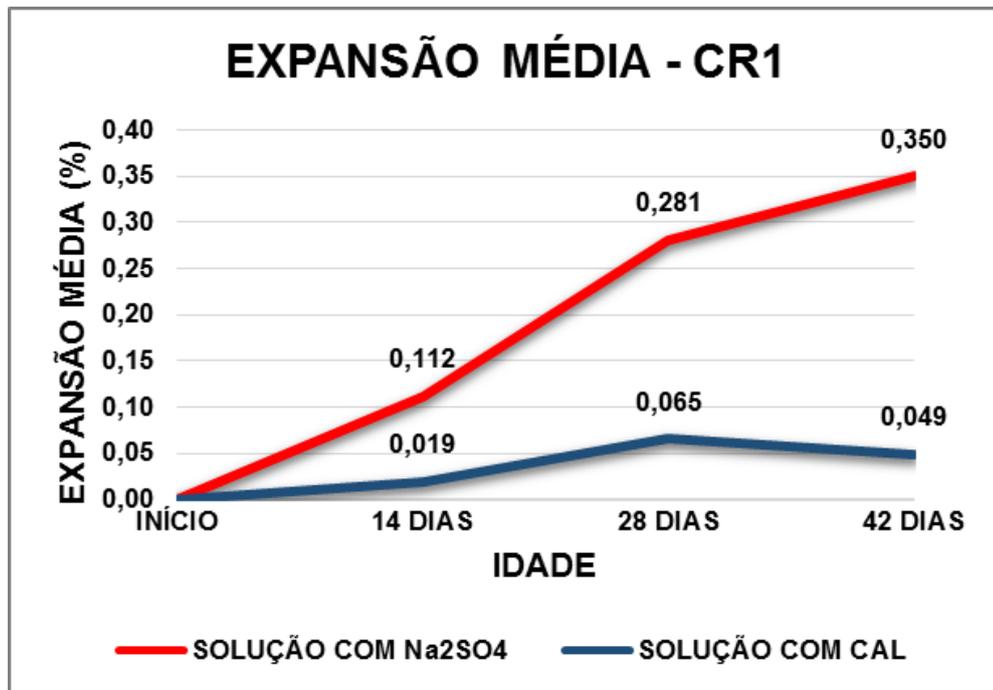


Figura 19 – Variação da expansão média para a amostra CR1 (Os autores, 2019).

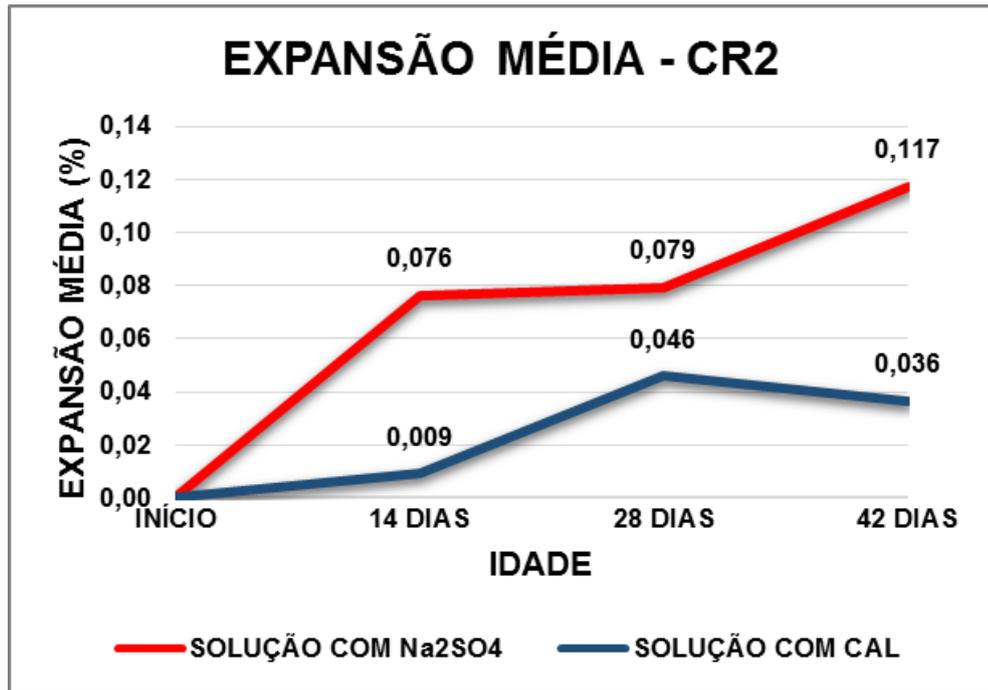


Figura 20 – Variação da expansão média para a amostra CR2 (Os autores, 2019).

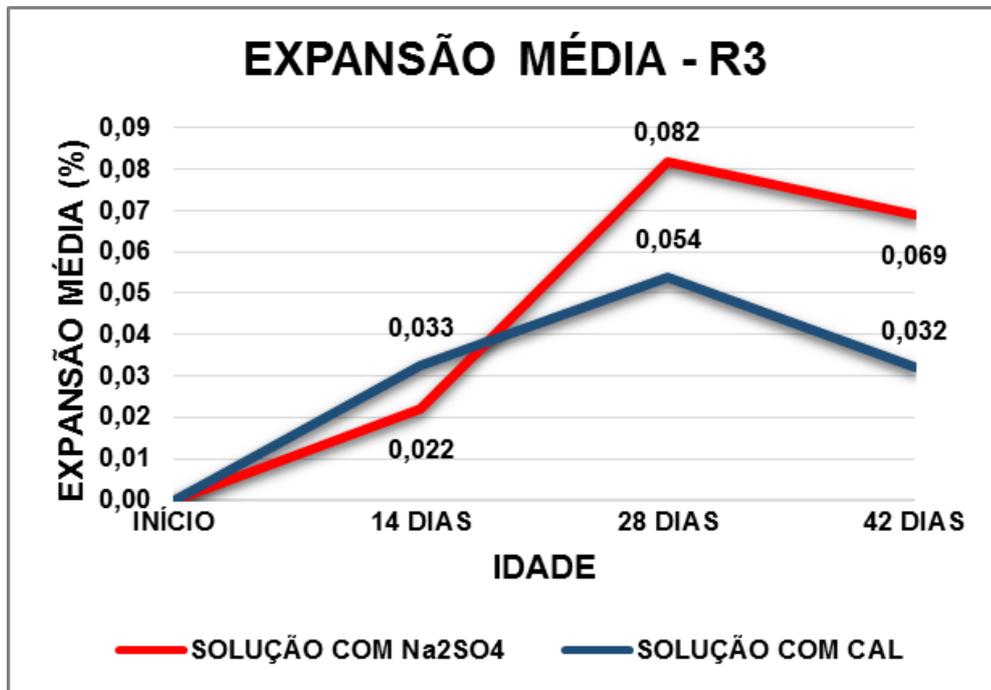


Figura 21 – Variação da expansão média para a amostra R3 (Os autores, 2019).

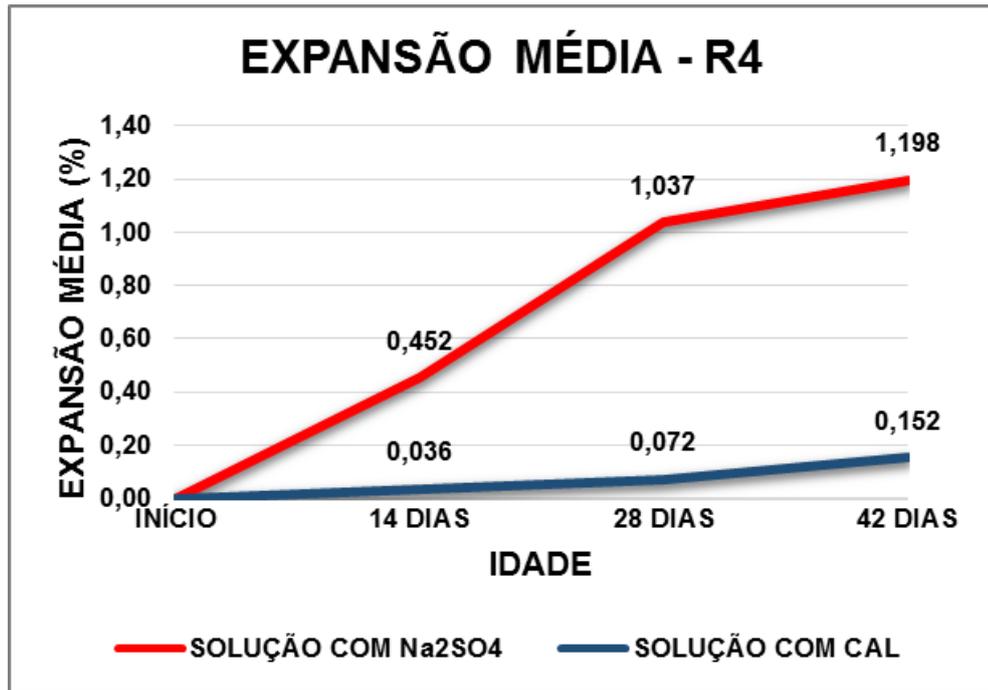


Figura 22 – Variação da expansão média para a amostra R4 (Os autores, 2019).

Após a obtenção das expansões individuais e média de cada amostra, efetuou-se o cálculo da expansão resultante de cada amostra. Segundo a NBR 13583 (ABNT, 2014), a expansão resultante para cada corpo de prova, em cada idade de medição, é dada pela seguinte fórmula (Equação 4), onde “Ae” representa a expansão resultante em cada idade, em porcentagem. As variáveis “Ea” e “Es” representam, respectivamente, a expansão média, em cada idade, das barras expostas à água saturada com cal e a expansão média, em cada idade, das barras expostas à solução agressiva. Ambas também são expressas em porcentagem.

$$Ae = Es - Ea$$

Equação 4 – Expansão resultante das amostras, em porcentagem (ABNT, 2014).

EXPANSÃO RESULTANTE DAS AMOSTRAS				
PRODUTO	IDADE	Ea (%)	Es (%)	Ae (%)
CR1	14 DIAS	0,019	0,112	0,093
	28 DIAS	0,065	0,281	0,216
	42 DIAS	0,049	0,350	0,301
CR2	14 DIAS	0,009	0,076	0,067
	28 DIAS	0,046	0,079	0,034
	42 DIAS	0,036	0,117	0,081
R3	14 DIAS	0,033	0,022	-0,011
	28 DIAS	0,054	0,082	0,028
	42 DIAS	0,032	0,069	0,037
R4	14 DIAS	0,036	0,452	0,416
	28 DIAS	0,072	1,037	0,965
	42 DIAS	0,152	1,198	1,045

Tabela 29 – Expansão resultante das amostras ao longo da etapa de cura final do ensaio de ataque por sulfato de sódio (Os autores, 2019).

Ao analisar os valores expostos na Tabela 29, verifica-se que as amostras CR2 e R3 apresentaram variações dimensionais mínimas, não alcançando 0,1% de variação em relação ao comprimento efetivo em nenhuma das idades de medição. Além disso, ambas as amostras apresentaram certa oscilação no desenvolvimento da variação, exibindo tanto períodos caracterizados por expansão crescente quanto períodos caracterizados por expansão decrescente, apresentando até mesmo retração, no caso da amostra R3.

Por outro lado, a amostra a amostra R4 apresentou expansão resultante muito superior às outras amostras. Por exemplo, a expansão resultante, aos 42 dias, da amostra R4 foi aproximadamente 28 vezes maior que a expansão resultante da amostra R3, na mesma idade. Este fato aponta que a amostra R4 possui, visivelmente, resistência ao ataque por sulfatos bastante inferior às outras amostras ensaiadas.

Com relação à amostra CR1, sua expansão resultante, aos 42 dias, foi aproximadamente 3 vezes menor que a apresentada pela amostra R4, porém cerca de 8 vezes maior que a apresentada pela amostra R3. Isso mostra que, com relação às amostras CR2 e R3, a amostra CR1 também fica em desvantagem no aspecto resistência química.

A seguir (Figura 23) é apresentado um comparativo da evolução da expansão resultante das amostras ao longo da etapa de cura final do ensaio.

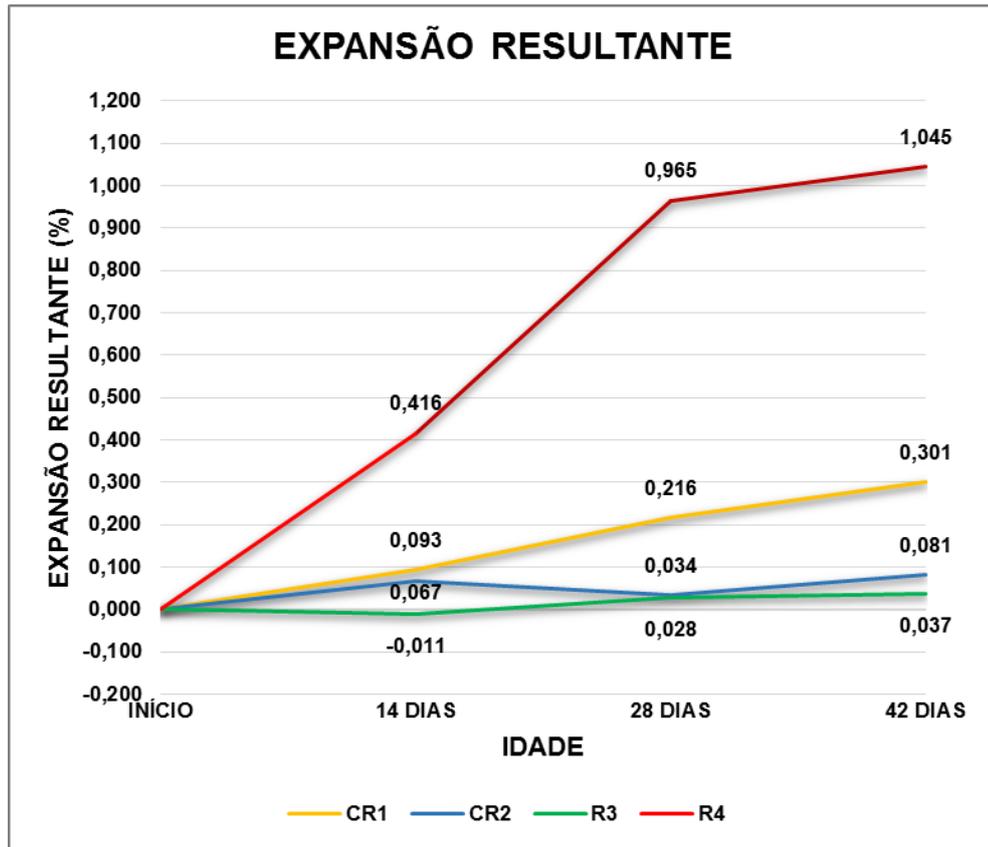


Figura 23 – Comparativo da evolução da expansão resultante ao longo da etapa de cura final do ensaio de ataque por sulfato de sódio (Os autores, 2019).

A NBR 16697: 2018 – Cimento Portland – Requisitos (ABNT, 2018) propõe que, para que a matriz cimentícia seja considerada resistente, a expansão resultante, determinada de acordo com os procedimentos da NBR 13583 (ABNT, 2014), menor ou igual a 0,030%. Seguindo este valor proposto, que também é adotado por Marciano (1993), argamassas que apresentem valores inferiores a esse seriam consideradas resistentes ao ataque por sulfato. Ao observar os valores de expansão média aos 42 dias para as amostras ensaiadas, percebe-se que todas as amostras ficaram acima do limite proposto, ou seja, não poderiam ser consideradas resistentes ao ataque por sulfato. Entretanto, vale ressaltar que a amostra R3 ficou muito próxima do valor proposto, apresentando expansão resultante, aos 42 dias, de 0,037%. A seguir (Figura 24), é apresentada a comparação entre os valores apresentados pelas amostras e tal limite proposto pela norma técnica.

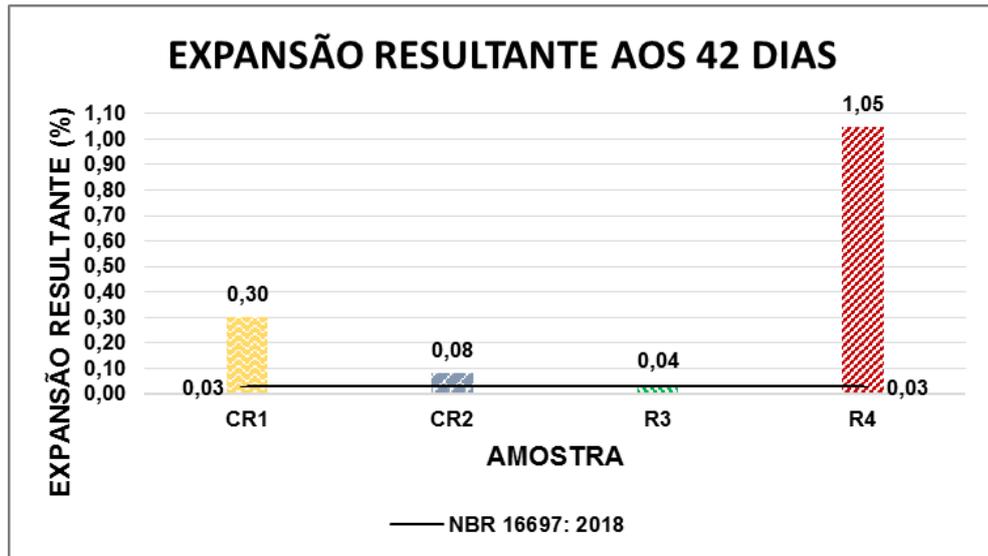


Figura 24 – Expansões resultantes aos 42 dias (Os autores, 2019).

Outro ponto a ser reforçado é o fato de que, diferentemente do método previsto na NBR 13583 (ABNT, 2014), que prevê uma relação água/materiais secos de 0,14, as amostras estudadas no presente trabalho foram moldadas segundo a dosagem de cada fabricante, apresentando relação água/materiais secos em torno de 0,24. Tal diferença pode ter apresentado impacto sobre os resultados.

Além da análise dos resultados, a NBR 13583 (ABNT, 2014) também orienta que sejam registradas quaisquer anomalias observadas nos aspectos das barras de argamassa ao longo do ensaio, como fissuração e desagregação parcial ou total. A respeito desse quesito, não foram observadas tais anomalias durante a realização do ensaio. Já com relação à solução agressiva com sulfato de sódio, não foram observadas variações significativas no seu pH durante a etapa de cura final. Este parâmetro se manteve próximo de 7,0, indicando solução neutra.

4.5 COMPILAÇÃO DE RESULTADOS

Nesta seção, é apresentada uma compilação de todos os resultados obtidos através da realização dos ensaios relatados neste trabalho que envolvem as quatro amostras de argamassas estudadas, a fim de facilitar comparações entre elas. Tal compilação é apresentada na Tabela 30.

COMPILAÇÃO DE RESULTADOS - ARGAMASSAS								
AMOSTRA	NBR 12379 (2005)		NBR 14992 (2003)					NBR 13583 (2014)
	Resistência à Tração na Flexão	Resistência à Compressão	Resistência à Compressão	Retenção de Água	Variação Dimensional	Absorção de Água por Capilaridade	Absorção de Água por Permeabilidade	Ataque por Sulfato
	Resistência - MPa	Resistência - MPa	Resistência - MPa	D médio - mm	Variação - mm	Absorção - g/cm ²	Absorção - cm ³	Expansão - %
Limite	≥ 3,00	≥ 10,00	---	≤ 124,00	≤ 2,00	≤ 0,30	≤ 1,00	≤ 0,030
CR1	7,20	23,20	23,08	80,23	-2,041	0,49	0,8	0,301
CR2	3,93	14,27	14,57	85,12	-1,797	0,19	0,5	0,081
R3	5,11	14,44	17,17	103,87	-1,584	0,10	0,0	0,037
R4	8,24	39,18	44,33	80,44	-1,471	0,21	0,3	1,045

Tabela 30 – Compilação de resultados – Argamassas (Os autores, 2019).

Pode-se ressaltar, a partir dos valores apresentados nas tabelas, que a argamassa que mais apresentou valores insatisfatórios quanto aos resultados dos ensaios foi a argamassa CR1, que obteve valores fora dos estabelecidos como limites para os ensaios de variação dimensional, absorção por capilaridade e de expansão/retração proveniente do ataque por sulfato.

Os resultados satisfatórios obtidos pela amostra CR2 podem ser corroborados pelo fato de que tal amostra foi utilizada como rejunte, há dois anos, em uma piscina particular localizada em residência, e se encontra em boas condições aparentes (sem deterioração do rejunte), conforme exposto na Figura 25.



Figura 25 – Amostra CR2 em boas condições, utilizada em piscina particular (Os autores, 2019).

O ensaio que mais apresentou resultados insatisfatórios para as amostras de argamassa testadas foi o ensaio de ataque por sulfato. Seguindo o limite estabelecido pela NBR 16697 (ABNT, 2018), de uma expansão máxima de 0,030%, todas as amostras acabaram extrapolando este valor, sendo, portanto, reprovadas sob a vista deste critério de resistência adotado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, serão apresentadas as principais conclusões a respeito dos resultados obtidos através dos ensaios realizados, apresentados na seção 4, buscando-se relações entre os valores obtidos resultantes dos ensaios das argamassas com aqueles obtidos através da coleta da água da piscina e avaliando-se possíveis causas da deterioração do rejunte. Além disso, será feita uma análise sobre a resistência dos corpos de prova moldados nos diferentes formatos, como efeito de comparação, e também a análise comparativa entre as argamassas AC/AR e AR, em termos de resistência mecânica e química. Ao final da seção, serão também expostas considerações a possíveis trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Tomando como base os ensaios realizados para a água coletada da piscina, uma das hipóteses consideradas para a deterioração da argamassa de rejunte é a presença do sulfato. Os seguintes valores, definidos por fontes da literatura, expostos na seção 2.3, são os seguintes:

- PWTAG (2011): 360mg/l de SO_4^{2-} na água
- NBR 12655: 2015: 150 a 1500mg/l de SO_4^{2-} na água
- Kulisch (2011): 45mg/l de SO_4^{2-} (esgoto)
- ACI 318-19 (2019): 150 a 1000 mg/l de SO_4^{2-} na água

O valor encontrado nos ensaios da água é de 15,50 mg/l de SO_4^{2-} , ou seja, inferior às fontes mencionadas acima e, portanto, não se enquadraria em uma situação de ambiente considerado como agressivo em nenhum nível. Entretanto, vale ressaltar que o ataque por sulfato pode causar expansão e fissuração na matriz cimentícia e, ao fissurar, a matriz acaba por sofrer um aumento de sua permeabilidade, o que facilita a entrada de água em seu interior e acelera o processo de deterioração do material. Também é importante ressaltar que, apesar das concentrações encontradas na análise estarem abaixo dos teores já citados, em certos momentos, por exemplo logo após a adição do produto de tratamento à base

de sulfato na água, essas concentrações poderiam ser maiores, fato que poderia acelerar a degradação do rejunte.

Existem também outros dois fatores importantes nesta análise. Neville (2016) destaca que a velocidade com que a matriz cimentícia é atacada pelo sulfato depende da taxa em que o sulfato removido pela reação com o cimento é repostado. Por se tratar de uma piscina pública, em que há uma grande necessidade de manutenção e cuidados com a água, há uma tendência de constantes inserções de produtos de tratamento com presença de sulfato, potencializando o ataque do sulfato ao rejunte. Outro ponto de destaque é o aquecimento da piscina, tendo em vista que o calor pode ser considerado um catalisador na velocidade das reações.

Feitas as devidas análises e ponderações, apesar da taxa de sulfato ser considerada baixa em relação a outras fontes da literatura, não se pode excluir este componente como possível participante no processo de deterioração da argamassa de rejunte da piscina em análise.

Na análise das argamassas utilizadas nesse estudo, tendo em vista que os corpos de prova para ensaio de resistência à compressão foram moldados em formas cilíndricas e prismáticas, constatou-se que não houve influência do formato para as argamassas CR1 e CR2, mas para as argamassas R3 e R4, as cilíndricas tiveram resultados superiores às prismáticas (variando de 13% a 19%).

Haja vista que o rompimento de cilindros requer mais cuidados no ensaio, pois a centralização inadequada dos corpos de prova pode gerar resultados errôneos, tais como lascamento de borda dos CP's e rupturas em locais adversos, é preferível a utilização da NBR 13279 (ABNT, 2005) para a realização dos ensaios, entretanto a situação ideal seria através da moldagem de corpos de prova prismáticos, objetivando maior padronização do ensaio e eliminando problemas relacionados a possíveis microfissuras dos CP's, posteriormente ao ensaio de resistência à tração na flexão.

A argamassa R3 foi a que apresentou melhores resultados para utilização como argamassa de rejunte para piscinas, considerando-se que atende às principais especificações trazidas pelas normas: resistência à compressão e à tração em valores suficientemente superiores aos limites mínimos, um valor de expansibilidade muito próximo ao indicado como limite quanto ao ataque por sulfatos e também baixos valores de permeabilidade e absorção. Estes fatores são importantes para a característica de estanqueidade que o conjunto de rejuntamento deve apresentar.

A argamassa CR2 apresentou resultados tão satisfatórios quanto a R3, excetuando-se o valor de expansibilidade que é em torno de 170% superior ao limite máximo indicado para resistir ao ataque por sulfato.

As argamassas CR1 e R4 não atingiram os valores mínimos em alguns ensaios (absorção de água por capilaridade e variação dimensional para a argamassa CR1), configurando-se, portanto, como opções não tão interessantes para aplicação. Além disso, a argamassa R4 apresentou valores de resistência à compressão e tração muito superiores ao necessário (em torno de 4 vezes superior para compressão e 3 vezes superior para tração), o que pode não ser desejável para argamassas de rejunte, pois pode levar à fissuração, embora esta amostra não tenha apresentado problemas de retração.

Levando em conta que a degradação das estruturas pelo ataque por sulfatos se dá pela reação entre esses compostos e os compostos da matriz cimentícia, e que a maior resistência mecânica da argamassa R4 pode estar associada a um maior teor de aglomerantes presentes em sua composição, o alto valor de expansibilidade nela encontrado (35 vezes superior ao máximo para ser considerada resistente ao sulfato) pode ser explicado por este motivo apontado. Vale ressaltar que o teor de aglomerantes não é fornecido pelo fabricante, portanto, trata-se de uma hipótese de acordo com o que foi observado pelos autores.

Sendo assim, com exceção da observação feita na seção 4.2.2, quanto à interferência do formato em suas resistências, não foi possível estabelecer algum tipo de diferenciação exclusiva comparando-se as argamassas colante e de rejunte com as argamassas de rejunte, tendo em vista a divergência dos resultados de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção e expansibilidade.

Apesar de não ter sido constatada influência direta da relação água/materiais secos sobre as resistências mecânicas de cada amostra, vale ressaltar os resultados satisfatórios obtidos pela argamassa R3 em certos ensaios. Uma vez que possui a menor relação água/materiais secos (0,22), a amostra apresenta a menor taxa de absorção (0,10 g/cm² para absorção por capilaridade e valores desprezíveis para a absorção por permeabilidade) dentre as amostras ensaiadas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em virtude da quantidade insuficiente de informações sobre o assunto, faz-se necessária uma avaliação experimental mais detalhada a respeito do teor de sulfatos necessário dentro de um ambiente para que ocorra degradação do rejunte cimentício, já que as normas técnicas e autores que abordam o assunto citam valores muito distintos uns dos outros.

Também pode-se considerar uma avaliação comparativa da resistência de argamassas de rejunte ao ataque por sulfato entre argamassas moldadas segundo a dosagem prevista pela NBR 13583 (ABNT, 2014) e a dosagem especificada pelo fabricante, identificando possíveis padrões e tendências, principalmente a respeito da relação água/materiais secos.

Além destas análises citadas anteriormente, pode-se determinar o módulo de elasticidade de diferentes amostras de argamassa para rejunte em piscinas, e comparar tais resultados com os resultados dos ensaios realizados no presente trabalho, buscando identificar possíveis relações e causas; e realizar um ensaio de resistência à abrasão por erosão, possibilitando avaliar o desgaste superficial do rejunte que fica sujeito às movimentações constantes da água da piscina.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-19**: Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10339**: Piscina – Projeto, execução e manutenção. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10818**: Qualidade de água de piscina. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13583**: Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14992**: A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6156**: Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8490**: Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – Retração por secagem. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9818**: Projeto de execução de piscina (tanque e área circundante). Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 7500-1**: Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1. Rio de Janeiro, 2016.

AEC WEB. **Uso de argamassa para rejunte requer conhecimento**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/uso-de-argamassa-para-rejunte-exige-conhecimento_8180_10_16>. Acesso em 30 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS E PROFISSIONAIS DE PISCINAS. **A água da piscina está irritando os olhos?** Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/noticias/a-agua-da-piscina-esta-irritando-os-olhos>>. Acesso em 04 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS E PROFISSIONAIS DE PISCINAS. **Piscina com água turva: veja as principais causas e como tratar.** Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/blog/piscina-com-agua-turva-veja-as-principais-causas-e-como-tratar>>. Acesso em 04 nov. 2019.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 set. 2017. Anexo XX. Disponível em: <<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2019.

CAPRARO, D. F. A.; CAPRARO, A. P. B.; ARGENTA, M. A.; MEDEIROS, M. H. F. **Avaliação experimental e numérica da influência da forma e dimensão de corpos de prova de argamassa em ensaios de compressão.** Ver. IBRACON Estrut. Mater. Vol.12 no.2 São Paulo Mar./Apr. 2019 Epub May 2019.

FIBER SALS. **Tudo sobre rejunte.** Disponível em: <<https://fibersals.com.br/blog/tudo-sobre-rejunte/>>. Acesso em 30 mai. 2019.

ILLINOIS DEPARTMENT OF ENERGY AND NATURAL RESOURCES. **Guidelines for applying copper sulfate as na algicide: Lake Loami field study.** Springfield: State of Illinois, 1998. Relatório técnico.

JUNGINGER, M.; RESENDE, M. M.; SABBATINI, F. H.; MEDEIROS, J. S. Influência de aditivos SBR na flexibilidade e no manchamento de rejuntamentos cimentícios. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, V. 2002, Juiz de Fora, **Anais...** Juiz de Fora: UFJF, 2002. Não paginado.

JUNGINGER, M. **Estudo de deterioração precoce de rejunte cimentício de piscinas.** Trabalho apresentado no II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306032873_ESTUDO_DA_DETERIORACAO_PRECOCE_DE_REJUNTE_CIMENTICIO_DE_PISCINAS>. Acesso em: 04 mai. 2019.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis** / Max Junginger, Jonas Silvestre Medeiros. -- São Paulo: EPUSP, 2004. 22 p. - (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/372).

KULISCH, D. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto.** Trabalho de graduação (bacharelado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LOPES, C. V. **Efeitos do Intemperismo em argamassas de rejuntamento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MARCIANO, Z. A. N. **Desenvolvimento de um método acelerado para avaliação da resistência de argamassas de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MARANHÃO, F. L.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. J. Influência do tipo de cimento nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas hidrofugadas com produtos à base de silicone. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2, 2007, Lisboa, **Anais...** Lisboa: APFAC, 2007.

MARCZYNSKI, D. **Desagregação precoce de rejunte em piscina: Estudo de caso em Curitiba.** Trabalho de graduação (bacharelado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MARTINS, D. G. **Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de módulo de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia – GO.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2008.

MAZEPA, R. C.; RODRIGUES, T de C. **Estudo comparativo entre corpos de prova cilíndrico e cúbico para o ensaio de resistência a compressão axial.** Trabalho de graduação (bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2014.

MOREIRA, L. C. Vida útil e prazos de garantia sob a ótica da norma de desempenho – NBR 15.575 (ABNT, 2013). **CREA-GO.** Disponível em: <<http://www.creago.org.br/index.php/comunicacao/imprensa/releases/918-vida-util-e-prazos-de-garantia-sob-a-otica-da-norma-de-desempenho-nbr-15-575-abnt-2013>>. Acesso em 30 mai. 2019.

NALON, G. H.; MARTINS, R. O. G.; LIMA, G. E. S.; ALVARENGA, R. de C. S. S. **Efeito da forma e do tamanho de corpos de prova na determinação da resistência à compressão e deformabilidade de argamassas mistas de cal e cimento.** In: 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 6 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Porto Alegre: Bookman, 2016.

PAES, I. N. L; CARASEK, H. **Desempenho das argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.93-103, abr./jun. 2002.

PAIM, A. S.; SANTOS, I. M. R. dos; RAISDORFER, J. W.; PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de. **Durabilidade de piscinas de concreto armado: a influência da natureza do tratamento da água**. Revista Concreto, São Paulo, ed. 66, p. 64-68, abr./jun. 2012.

POOL WATER TREATMENT ADVISORY GROUP. **Sulphate attack technical notes**. Disponível em <<https://www.pwtag.org/sulphate-attack-february-2011/>>. Acesso em 04 nov. 2019.

PORTOBELLO REVESTIMENTOS. **Atendimento à NBR 15.575:2013 Norma de Desempenho**. Relatório técnico, 2017.

PORTOKOLL BLOG. **Guia completo: Tipos de rejunte e suas aplicações**. Não paginado. Disponível em: <<http://portokoll.com.br/blog/guia-completo-tipos-de-rejunte/>>. Acesso em 30 mai. 2019.

SILVA, N. M. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada** – aplicação ao caso de Brasília/DF. 217 p. Tese (Doutorado em estruturas e construção civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/teses/D14-6A-Maria-da-Silva.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

WATERMELON MALAYSIA. **Pool flocculant – Alum**. Disponível em <http://www.watermelon.com.my/pool_flocculant_alum_aluminum_sulfate>. Acesso em 16 out. 2019.

WEBER SAINT-GOBAIN. **Como assentar e rejuntar cerâmicas em piscinas**. Disponível em <<https://www.quartzolit.weber/argamassas-e-rejuntas-quartzolit/como-assentar-e-rejuntar-ceramicas-em-piscinas>>. Acesso em 30 mai. 2019.

WEBER SAINT-GOBAIN. **Tudo sobre os tipos de rejuntas e suas funções**. Disponível em <<https://www.quartzolit.weber/ajuda-e-dicas-para-construir/tudo-sobre-os-tipos-de-rejuntas-e-suas-funcoes>>. Acesso em 30 mai. 2019.