

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO DE OLIVEIRA FRANÇA

**USO DE METACALCULINA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO PARA
COMBATE DE PATOLOGIAS RELACIONADAS AO EXCESSO DE UMIDADE
EM ALVENARIAS DE VEDAÇÃO**

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO DE OLIVEIRA FRANÇA

**USO DE METACALCULINA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO PARA
COMBATE DE PATOLOGIAS RELACIONADAS AO EXCESSO DE UMIDADE
EM ALVENARIAS DE VEDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor(a) Orientador(a): Dra. Giovana Collodetti

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

França, Francisco de Oliveira
USO DE METACALCULINA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO PARA O COMBATE DE
PATOLOGIAS RELACIONADAS AO EXCESSO DE UMIDADE EM ALVENARIAS DE VEDAÇÃO
DE VEDAÇÃO / Francisco de Oliveira França; orientadora, Giovana Colodetti
- Florianópolis, SC, 2018.
Número de páginas p. 69: il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.
Inclui Referências.

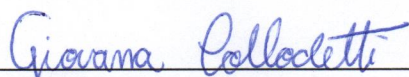
1. Patologia. 2. Umidade. 3. Impermeabilização. 4. Argamassa. 5. Alvenaria
I. Colodetti, Giovana. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

FRANCISCO DE OLIVEIRA FRANÇA

USO DE METACAULINITA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO PARA
COMBATE DE PATOLOGIAS RELACIONADAS AO EXCESSO DE UMIDADE EM
ALVENARIAS DE VEDAÇÃO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

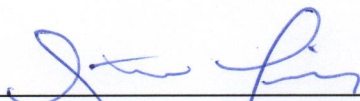
Florianópolis, 15 de fevereiro de 2019.



Prof. Giovana Collodetti, Dra.

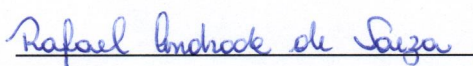
Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Gustavo Perius, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina



Rafael Andrade de Souza, Technol.

Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

Desde o último século, se usa comumente o termo “patologia das construções”, em analogia com as enfermidades da medicina. A maior parte das patologias em construções estão relacionadas com a infiltração de água. Diante desse contexto o Instituto Brasileiro de Impermeabilização comenta que um plano de impermeabilização bem concebido e executado custa em torno de 3% do custo total da obra, mas se a infiltração ocorrer após o término da obra, os prejuízos do tratamento das patologias podem passar de 10%. Dessa forma percebe-se que o controle das patologias causadas pela umidade é vital para garantir a funcionalidade da construção. O estudo e implementação de novos materiais para o combate de patologias relacionadas à infiltração de água em edifícios aumenta a gama de recursos disponíveis para Engenheiros e Arquitetos. Atualmente existem opções no mercado internacional de placas cerâmicas capazes de controlar a umidade e o volume de sólidos suspensos no ambiente. Elas são compostas principalmente por silicatos, cal e outros componentes hidrófilos. As cerâmicas são utilizadas em museus, restaurantes, banheiros, etc, e tem como objetivo a desodorização e controle de umidade, para evitar proliferação de mofo decorrente da umidade atmosférica, sendo um dos componentes principais responsáveis por essas características, a metacaulinita. A metacaulinita também é empregada na composição de concretos, pois seu uso em pequenas quantidades aumenta a resistência a compressão, e diminui a porosidade e a permeabilidade. Para avaliar o potencial da metacaulinita no combate de patologias relacionadas a infiltração de água, foram produzidas paredes compostas por blocos cerâmicos de vedação, chapisco e argamassa de assentamento vertical, sendo esta argamassa composta por altas concentrações de metacaulinita. As paredes são expostas a condições de umidade para a avaliação do comportamento entre grupos de paredes com a argamassa apresentando três diferentes concentrações de metacaulinita. Com o resultado das umidades resultantes de cada parede foi possível concluir que a substituição de cal por metacaulinita na composição da argamassa resultou em paredes com maiores capacidades de absorverem e liberarem água, comportando-se como um material possível de ser utilizado como correção ou prevenção de patologias relacionadas à infiltração de água em paredes de alvenaria de vedação.

Palavras-chave: Patologia. Umidade. Impermeabilização. Argamassa. Alvenaria.

ABSTRACT

Since last century, the term construction's pathology has been commonly used in analogy with the medical diseases. Pathology is restricted to damage studies, doing a systematic study of accidents and their causes. Most of the pathologies in buildings are related to water infiltration. Given this context, the Brazilian Institute of Waterproofing says that a well-designed and executed waterproofing plan takes around 3% of the total cost of the work. However if the infiltration occurs after the end of the work, the losses for the treatment of pathologies can exceed 10%. In this way it is noticed that controlling the moisture problems seem to be vital in ensuring the building functionality. The study and implementation of new materials to strike pathologies related to water infiltration in buildings increases the range of resources available to Engineers and Architects. Nowadays there are options in the international market on ceramic tiles capable of controlling the humidity and volume of suspended solids in the environment. They are mainly composed of silicates, lime and other hydrophilic components. These ceramics are used in museums, restaurants, bathrooms, etc. Aiming on the deodorization and moisture control to avoid mold proliferation due to atmospheric humidity, as one of the main components responsible for those characteristics is the metakaolin. The metakaolin is also used on concrete composition, where low rates increases the compressive strength, while reduces porosity and permeability. To evaluate the metakaolin potential there will be the production of walls composed of ceramic blocks and vertical laying mortar. The walls, having different metakaolin percentages, are exposed to extremely humidity conditions to evaluate the behavior between them. With the resulting moisture of each wall it is possible to conclude that the substitution of lime by metakaolin in the mortar's composition resulted in walls with greater capacity to absorb and release water, behaving as a possible material to be used as correction or prevention of pathologies related to water infiltration pathologies in masonry walls.

Keywords: Pathology. Moisture. Waterproofing. Mortar. Masonry.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vazamentos em pisos e paredes com ruptura de elementos internos. ...	30
Quadro 2 – Vazamentos em pisos e paredes com Infiltração de água de chuva.	30
Quadro 3 – Vazamentos em pisos e paredes com Infiltração de água do solo.	31
Quadro 4 – Resultados do ensaio de massa específica do tubo de lê Chatelier.	43
Quadro 5 – Pesos secos das paredes.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do ensaio de massa específica do tubo de lê Chatelier.....	44
Tabela 2 – Resultados do ensaio de massa específica do Picnômetro.....	44
Tabela 3 – Dados de material retido por peneira da areia.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo de tipos de infiltração de umidade.	18
Figura 2 – Esquema representativo de tipos de infiltração de umidade.	20
Figura 3 – Manchas e goteiras.	20
Figura 4 – Mancha de mofo em parede de alvenaria.	21
Figura 5 – vigas enferrujadas causam deslocamento de concreto.	22
Figura 6 – Caso de eflorescência em muro de alvenaria.	23
Figura 7 – Parede de alvenaria.	25
Figura 8 – Execução de parede em alvenaria.	26
Figura 9 – Equipamentos auxiliares na execução das paredes de alvenaria.	26
Figura 10 – Encabeçamento dos blocos, pressão no assentamento (...)	27
Figura 11 – Impermeabilização de paredes enterradas.	29
Figura 12 – Ponte de Benicia-Martinez, Califórnia.	32
Figura 13 – Hidrelétrica Pinalito, República Dominicana.	33
Figura 14 – Mufla com camada de metacaulinita.	34
Figura 15 – Ensaio do cachimbo em andamento.	36
Figura 16 – Execução de parede de alvenaria (...)	38
Figura 17 – Esquema de paredes executadas (cm).	39
Figura 18 – Esquema de paredes e bloco cerâmico (cm)	39
Figura 19 – Paredes sobre sistema de umidade.	40
Figura 20 – Dataloger.	42
Figura 21 – Curva Granulométrica - areia.	45
Figura 22 – Manchas de umidade presentes em paredes do Grupo 1 (...)	46
Figura 23 – Manchas de umidade presentes em paredes do Grupo 3 (...)	47
Figura 24 – Permeabilidades de água médias dos grupos de paredes.	47
Figura 25 – Temperaturas médias por etapas do procedimento de umidade.	48
Figura 26 – Umidades atmosféricas médias (...)	48
Figura 27 – Dados de umidade das paredes do Grupo 1, umidade atmosférica.	50
Figura 28 – Dados de umidade das paredes do Grupo 1, temperatura ambiente.	51
Figura 29 – Dados de umidade das paredes do Grupo 2, umidade atmosférica.	51
Figura 30 – Dados de umidade das paredes do Grupo 2, temperatura ambiente.	52
Figura 31 – Dados de umidade das paredes do Grupo 3, umidade atmosférica.	52
Figura 32 – Dados de umidade das paredes do Grupo 3, temperatura ambiente.	53
Figura 33 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 1.	54
Figura 34 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 2.	55
Figura 35 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 3.	56
Figura 36 – Taxas de variação de umidade médias por grupo de paredes.	57
Figura 37 – Curvas de tendência de umidade dos grupos de paredes.	58
Figura 38 – Umidades médias por grupos de paredes (...)	59
Figura 39 – Ganhos e perdas de umidade por grupo de paredes.	60
Figura 40 – Valores de absorção e secagem totais por grupo de paredes.	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Definição do Problema	15
1.3	Objetivo Geral	15
1.4	Objetivos Específicos.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	Formas de infiltração de água.....	16
2.1.1	Infiltração por pressão hidrostática	16
2.1.2	Infiltração por capilaridade	17
2.1.3	Infiltração por percolação.....	17
2.2	Origens de umidade nas construções.....	17
2.2.1	Umidade proveniente do solo	18
2.2.2	Umidade proveniente da atmosfera	18
2.2.3	Umidade proveniente da construção.....	19
2.3	Danos causados pela umidade	19
2.3.1	Goteiras e manchas	20
2.3.2	Mofo e Apodrecimento	21
2.3.3	Ferrugem e Corrosão.....	21
2.3.4	Eflorescência e Criptofloreescência.....	22
2.3.5	Gelividade	24
2.3.6	Descolamento por empolamento e pulverulência	24
2.4	Execução de paredes com alvenaria de vedação.....	24
2.4.1	Blocos Cerâmicos	26
2.4.2	Argamassa de revestimento vertical	28
2.5	Impermeabilização em paredes de alvenaria.....	28
2.6	Caulinita e Metacaulinita	31
2.7	Ensaio do cachimbo – medidas de permeabilidade.....	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Processo de fabricação da Metacaulinita.....	34
3.2	Massa específica dos componentes da argamassa	35
3.3	Granulometria da areia	35
3.4	Ensaio do cachimbo.....	35
3.5	Execução de paredes e respectivos testes.....	37
3.5.1	Materiais	37
3.5.2	Execução	37
3.5.3	Esquema de posicionamento das paredes no sistema de umidade	38
3.6	Simulação de umidade.....	40
3.7	Determinação da umidade global	41
3.8	Determinações de umidade atmosférica e temperatura.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Condições de umidade das paredes, antecedente aos ensaios	43
4.2	Massa específica da metacaulinita e da areia	44
4.3	Granulometria da areia	44
4.4	Ensaio do cachimbo.....	46
4.5	Dados de temperatura e umidade atmosférica	48
4.6	Umidade das paredes e análises de temperatura e umidade (.).....	49
4.7	Curvas de tendência de umidade	54

4.8	Ganhos e perdas totais de umidade por grupo de parede	59
4.9	Considerações sobre o uso da metacaulinita na argamassa	61
5	CONCLUSÕES	64
6	Sugestões para trabalhos futuros	66

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem procura meios para conviver eficientemente em grandes civilizações. Com o avanço da tecnologia aliada ao crescimento de centros urbanos houve uma conscientização geral da população sobre condições mínimas de vivência e ocupação (HILÁRIO, 1976).

Profissionais experientes na arte da construção civil, com o passar do tempo, perceberam a necessidade de estipular técnicas com o objetivo de melhorar a segurança, habitabilidade, sustentabilidade e nível de desempenho em construções (ABNT, 2013a). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017) "O estabelecimento e a aplicação de normas técnicas são indispensáveis para que se garanta a qualidade dos diversos produtos, processos e serviços".

Sabe-se que o ramo da construção civil em 2016 tomou cerca de 5% de todo o PIB brasileiro (IBGE, 2016). Ainda, essa atividade é muito afetada por crises econômicas, bem como por mão de obra pouco especializada e a necessidade de execução de obras em cronogramas cada vez mais enxutos, o que contribuem para redução da qualidade das edificações (PEREZ, 1988).

Diante deste contexto, Perez (1988) comentou que a arquitetura moderna é um dos fatores que mais contribuem para o aparecimento de patologias, além do surgimento de novos sistemas construtivos e materiais. Esses fatores, aliados com a falta de planejamento e preparo da equipe na obra, tem um grande impacto na saúde do edifício.

As patologias e vícios aparentes em construções podem demonstrar um estado de potencial perigo na estrutura. As principais causas das patologias estão relacionadas com recalques, deformações causadas por movimentações térmicas ou sobrecargas e acúmulo de tensões, defeitos construtivos e reações químicas como corrosão e carbonatação, todos eles decorrentes de erros de projeto, execução, manutenção ou uso de materiais inadequados. Esses fatores geram sintomas como fissuras, trincas, percolação de água, manchas e descolamento de revestimento em fachadas. (OLIVARI, 2003)

Assim, o conhecimento de princípios e técnicas preventivas, como as de impermeabilização, que evitam patologias relacionadas a umidade, tornaram-se imprescindíveis no ramo de patologias das edificações. Segundo Verçozza (1983) as

consequências da infiltração de água podem ser notadas com o aparecimento de goteiras e manchas, mofo e apodrecimento, ferrugem, eflorescências, rachaduras causadas por criptoflorencências e gelividade, e esses fatores, se não corrigidos, podem deteriorar toda a edificação.

A implementação de novos materiais para o combate de patologias relacionadas à infiltração de água em edifícios aumenta a gama de recursos disponíveis para Engenheiros e Arquitetos. Dessa forma, o estudo mais aprofundado de Engenharia de Materiais alavanca a descoberta de novos meios de se tratar essas patologias. Dentro deste contexto, Souza (2008) produziu placas cerâmicas porosas cuja composição possuía metacaulinita, um material com propriedades hidroabsorventes, que possibilitou à cerâmica possuir propriedades passivas controladoras da umidade ambiente.

A metacaulinita também é utilizada na composição de concretos e argamassas. Lynsdale (1996) comenta que a substituição de até 15% de cimento Portland por metacaulinita na composição de concretos com baixa porcentagem de água resulta em uma maior resistência a compressão e menor porosidade e permeabilidade.

Visando o combate de patologias relacionadas a infiltração de água em construções, procura-se nesta pesquisa utilizar metacaulinita em um sistema mais comum, que é a argamassa de revestimento vertical, aplicada em paredes de alvenaria de vedação, de forma que a mistura possua umidade suficiente para não ocorrer a perda de permeabilidade, com o objetivo de se obter propriedades passivas de controle de umidade ambiente, como o ocorrido nas cerâmicas hidroabsorventes.

1.1 Justificativa

Os problemas decorrentes da passagem e conseqüente acúmulo de umidade em elementos estruturais e de alvenaria acontecem devido às más condições da estrutura como todo e dos sistemas de impermeabilização. Em muitos casos a retirada da fonte da umidade presente é muito complexa, o que obriga o usuário a conviver com a patologia, tendo que repor ou substituir os materiais afetados de tempos em tempos.

Um caso comum é a presença de manchas em paredes de alvenaria devido a infiltração de água proveniente do solo, sendo esta decorrente de erros na impermeabilização da fundação. Nesse caso, uma intervenção, como a troca da pintura, não se apresenta como uma solução adequada, pois ela não erradica o foco de água nem o acúmulo de umidade na parede. Mas, de qualquer forma, esse caso é difícil de solucionar atuando na origem da umidade, pois demandaria um elevado investimento financeiro com demolições e novos sistemas de impermeabilização (VERÇOZA, 1983).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI, 2017), um plano de impermeabilização bem concebido e executado custa em torno de 3% do custo total da obra. Mas se a infiltração ocorrer após o término da obra, os prejuízos do tratamento das patologias podem passar de 10%. Dessa forma, percebe-se a importância de solucionar problemas de umidade em alvenaria.

Neste sentido, existem atualmente soluções encontradas no mercado internacional para o combate de umidade, entre ele(a)s há um revestimento cerâmico semelhante ao produzido por Souza (2008). Este revestimento é utilizado em interiores e apresenta a propriedade de controle passivo de umidade. (INAX, 2012).

O produto é utilizado de formas específicas, como ocorre em exposições de obras em museus e salas de arquivos. Nelas o controle da umidade é necessário, pois em altos teores pode ocasionar a condensação de água e conseqüentemente gerar proliferação de mofos. De forma análoga, a cerâmica também pode ser utilizada em condições de baixa umidade, prevenindo o aparecimento de fissuras que ocorrem devido ao ressecamento. (INAX, 2012).

Esta característica promove o balanceamento da umidade do substrato com a da atmosfera, o que pode amenizar o acúmulo de água dentro da parede, bem como direcionar o gradiente hidráulico da obra para longe de elementos estruturais.

Dessa forma, percebe-se que o uso de metacaulinita na composição de materiais de revestimento pode ter potencial de agir como medida preventiva no aparecimento de patologias em paredes atacadas por umidade.

Portanto, este trabalho propõe um novo propósito para o uso de metacaulinita, que se trata em sua adição no traço de argamassa de revestimento vertical em paredes de alvenaria de vedação, para a obtenção de propriedades

passivas de controle de umidade, com o objetivo de reduzir o aparecimento de patologias causadas pela presença de umidade.

1.2 Definição do Problema

A utilização de argamassa de revestimento vertical, composta por metacaulinita, em alvenarias de vedação que apresentam patologias oriundas do excesso de umidade se apresenta tecnicamente viável, no que tange ao controle destas patologias?

1.3 Objetivo Geral

Avaliar o uso de argamassa de revestimento vertical composta por metacaulinita em paredes de alvenaria de vedação com o intuito de elaborar um método viável de correção ou prevenção de patologias relacionadas a umidade em edificações.

1.4 Objetivos Específicos

- a) Produção de argamassa de revestimento vertical com metacaulinita em diferentes traços;
- b) Elaboração de um meio para replicar situações com problemas de umidade, que permita a verificação do desempenho da argamassa de revestimento vertical;
- c) Verificação do desempenho da argamassa de revestimento vertical com metacaulinita, em diferentes traços, aplicada à um sistema com problemas de umidade, através de ensaios de laboratório;

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, será abordada uma breve revisão da literatura com o objetivo de aprofundar o conhecimento teórico sobre as principais formas de infiltração de água, origens da umidade em construções, danos causados pela umidade, métodos usuais para tratamento de patologias de umidade em paredes de alvenaria, construção de paredes feitas em alvenaria de vedação e ensaios laboratoriais pertinentes à pesquisa.

2.1 Formas de infiltração de água

A água, assim como qualquer outro líquido, possui propriedades fundamentais que devem ser consideradas para o entendimento dos sistemas de impermeabilização. Pascal há muito tempo percebeu que os líquidos possuem menor força de atração entre as partículas quando se comparado aos sólidos, isso faz com que seu estado se apresente muito menos coeso. Por essa característica ele concluiu que os líquidos são capazes de distribuir pressões em todas as direções. (VERÇOZA, 1983).

A partir dessas constatações é possível demonstrar que um líquido, em repouso, possui pressão hidrostática proporcional à profundidade, e que essa pressão na ausência de outras forças é igual ao peso da coluna de líquido sobre a superfície. Assim nota-se que o volume de água não influencia o dimensionamento dos sistemas de impermeabilização, mas sim a pressão exercida pela coluna de líquido (VERÇOZA, 1983).

Verçoza (1983) explica, ainda, que existem basicamente três formas de propagação de água dentro de materiais, que são por pressão hidrostática, capilaridade ou percolação. Os conceitos das formas de propagação explicados nos próximos tópicos são baseados no mesmo autor.

2.1.1 Infiltração por pressão hidrostática

A infiltração por pressão hidrostática ocorre quando existem fissuras diretamente em contato com alguma coluna de água. Dependendo da altura de líquido até a superfície, a infiltração pode ocorrer de maneira mais ou menos agressiva, como

por gotejamento, filetes ou jorros de água. Esse caso também pode ocorrer em tubulações de água que rompem dentro de uma parede.

2.1.2 Infiltração por capilaridade

A capilaridade é explicada pelo fenômeno da tensão superficial da água que depende da viscosidade, peso específico, rugosidade do material que está em contato, dimensão dos canais capilares, entre outros. Os materiais da construção civil possuem muitos poros interligados, que se apresentam como pequenos tubos onde as tensões superficiais resultantes da água são propícias para a sua penetração.

A capilaridade não ocorre somente numa direção, porém o sentido contra a gravidade possui menor força de penetração. A umidade geralmente sobe em paredes de tijolos ou concreto até 75cm de altura, entretanto, em casos especiais ela pode superar essa marca.

2.1.3 Infiltração por percolação

A percolação também é explicada pelos princípios da capilaridade, porém ela ocorre de grão a grão, semelhante ao processo de osmose. Ela pode ocorrer em qualquer situação onde haja umidade. As calhas, por exemplo, mesmo possuindo inclinação e uma superfície bem-acabada, devido à rugosidade do material, acaba sendo totalmente molhada pela percolação de água.

2.2 Origens de umidade nas construções

As origens de umidade em edificações podem ser classificadas de várias formas. De acordo com a Norma Brasileira 9575 (ABNT, 2010), os tipos de infiltração mais comuns são por água de percolação, condensação, umidade do solo e sob pressão unilateral ou bilateral. Já Verçosa (1983) classificou de outra forma quando dividiu os tipos de infiltrações em umidades provenientes do solo, atmosfera e da própria construção, que serão explanados nos próximos tópicos. A Figura 1 representa um esquema com as origens de umidade em construções e alguns tipos de infiltração de umidade.

Figura 1 – Esquema representativo de tipos de infiltração de umidade.



Fonte: Douglas (2011).

2.2.1 Umidade proveniente do solo

Todo elemento que está diretamente em contato com o solo é alvo de infiltrações de umidade por capilaridade. A proximidade do elemento do lençol freático aumenta consideravelmente o ataque da água e o elemento deve ser impermeabilizado de forma adequada. De acordo com Verçoza (1983), o caso mais típico de patologia desse tipo de infiltração são as marcas ascendentes de água nas paredes a partir da base.

2.2.2 Umidade proveniente da atmosfera

As umidades provenientes da atmosfera aparecem com chuvas ou lugares muito úmidos. A água da chuva penetra nos edifícios por pressão hidrostática ou percolação, mas mesmo com telhados, paredes e lajes de terraços bem vedados, o excesso de chuva pode ocasionar a infiltração e gerar manchas.

A condensação é comum de acontecer em lugares com pouca ventilação e superfícies frias, onde a água está propícia a condensar. Em banheiros e cozinhas a condensação não é permanente e pode ser evitada tendo aberturas para a passagem de ar, mas segundo Verçoza (1983), as paredes subterrâneas em contato com a umidade do solo são atacadas permanentemente.

2.2.3 Umidade proveniente da construção

Durante a execução de uma obra muitos são os materiais que necessitam de água antes ou após a aplicação como argamassas, pinturas, alvenaria, etc. A água utilizada fica impregnada dentro dos poros dos materiais durante cerca de seis meses, até desaparecer completamente. Além disso, essa umidade também ocorre em caso de tubulações danificadas dentro de paredes e lajes. (KLEIN, 1999).

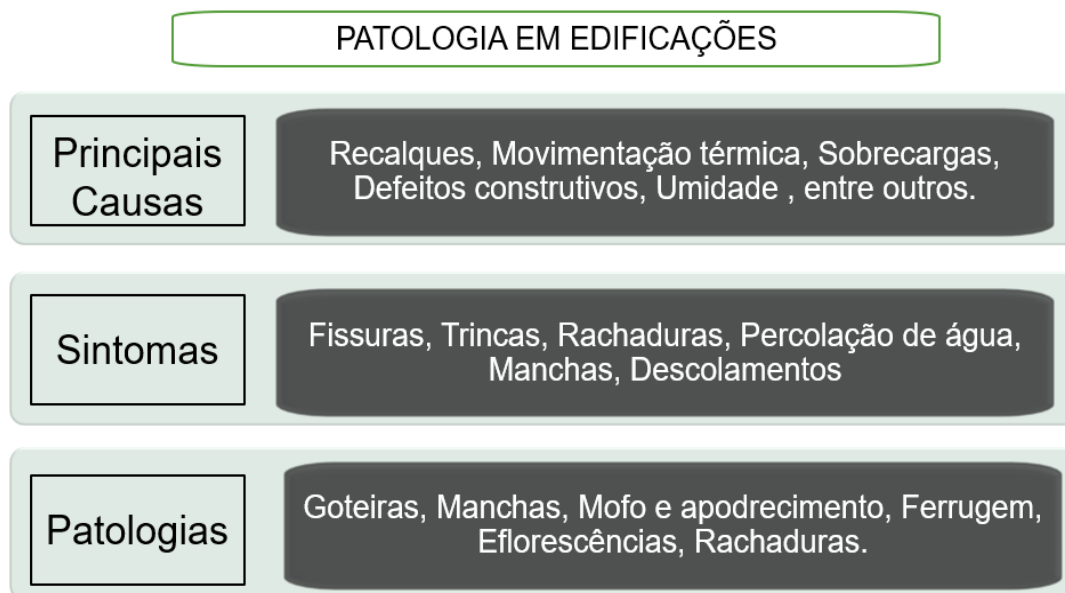
2.3 Danos causados pela umidade

De acordo com Perez (1988), a umidade nas construções é substancialmente o problema mais difícil a ser corrigido na construção civil. Isso ocorre devido à grande complexidade dos fenômenos de percolação e infiltração de água e a carência de estudos e pesquisas específicos da área.

A umidade, quando em grandes escalas, prejudica a saúde dos usuários da edificação e altera sua aparência. Os problemas oriundos da infiltração de água normalmente são percebidos após já haver grandes danos ao edifício, isso ocorre pois geralmente só se percebe que a infiltração existe quando, por exemplo, o revestimento apresenta manchas, bolhas ou se desprende da parede (CECHINEL, 2010).

Como já foi citado por Verçoza (1983), são diversas as manifestações patológicas oriundas de sistemas de impermeabilização defeituosos, entre eles goteiras e manchas, mofo e apodrecimento, ferrugem, eflorescência, criptoflorescência e gelividade. Bauer (1994) também comenta sobre formas de descolamento dos revestimentos, que podem ser causadas por empolamento ou má aderência, podendo ou não ser acompanhados por pulverulência. A Figura 2 resume em um esquema as principais causas, sintomas e patologias relacionadas à umidade, que deterioram edificações.

Figura 2 – Esquema representativo de tipos de infiltração de umidade.



Fonte: Do autor (2018).

2.3.1 Goteiras e manchas

São os casos mais comuns de patologia que se procura sustar com a impermeabilização em edificações e raramente devem ser admitidos. Em um caso de goteiras e manchas ocasionadas por alguma infiltração permanente, a umidade deteriora os materiais e desvaloriza a obra, como mostrado na Figura 3 (VERÇOZA, 1983).

Figura 3 – Manchas e goteiras.



Fonte: Redação Reforma Fácil (2011).

2.3.2 Mofo e Apodrecimento

São mais comuns em madeiras, mas também ocorrem em alvenaria. Essa patologia é decorrente de ataque de fungos, que formam mofo e bolor, que se enraízam no substrato procurando um lugar propício para proliferar. Os fungos necessitam de ar e água, portanto a eliminação da patologia está ligada à erradicação do excesso de umidade, mas segundo Verçoza (1983), se as raízes atingirem profundidade considerável na estrutura será difícil de combatê-las. A Figura 4 apresenta um exemplo de ocorrência de mancha por mofo, causada por excesso de umidade em paredes.

Figura 4 – Mancha de mofo em parede de alvenaria.



Fonte: Abdalla (2016).

2.3.3 Ferrugem e corrosão

Verçoza (1983) comenta que a ferrugem é o produto do processo de oxidação de um metal, e que ele se apresenta como um sal de pouca aderência. Sua produção é acelerada pela presença de água, portanto todas as estruturas metálicas devem estar protegidas contra o ataque de umidade. De acordo com Sachs (2015) “Fissuras e deslocamentos de concreto podem ser provocados pela corrosão da armadura, já que o processo de oxidação aumenta o volume do aço, ocasionando tensões de tração no cobrimento de concreto” (Figura 5).

Figura 5 – vigas enferrujadas causam deslocamento de concreto.



Fonte: Sachs (2015).

As três principais causas de corrosão química do concreto são devido à gases contidos na atmosfera (como CO_2 e SO_2); águas puras, turvas, ácidas, selenitosas e marinhas, e compostos fluidos ou sólidos de natureza orgânica, tais como óleos, gorduras, combustíveis, líquidos alimentares, etc (CANOVÁS, 1988).

Existem outros fatores que podem acelerar a corrosão do concreto armado. O cloreto de cálcio por exemplo, pode ser usado como aditivo acelerador de pega do concreto, mas ele em contato com a água forma o ácido clorídrico, que é um agente que corrói rapidamente o aço (VERÇOZA, 1983).

2.3.4 Eflorescência e Criptoflorescência

As eflorescências são sais que se formam na parede, que por serem solúveis em água, são trazidos pela passagem de umidade do interior para a superfície (Figura 6). Elas dão mau aspecto ao substrato pois formam manchas, descolamentos ou descoloramento de pinturas, manchas em revestimentos de concreto, tijolos, blocos cerâmicos, argamassas, etc.

Figura 6 – Caso de eflorescência em muro de alvenaria.



Fonte: Surface Restoration (2017).

A formação de eflorescência também está relacionada ao “sequestro” de Cálcio (Ca) dos componentes com cimento (argamassa, concreto), e isso deixa o material mais poroso e menos alcalino. Essa combinação aumenta a susceptibilidade à penetração de umidade e conseqüente ataque das armaduras. A porosidade também pode significar redução da qualidade, especialmente para concretos (LAPA, 2008).

Verçoza (1983) cita alguns sais causadores de eflorescências, entre eles estão: nitratos alcalinos, carbonato de cálcio e sulfoaluminatos de cálcio, que dão aspectos esbranquiçados na superfície, e sais de ferro, que dão cor ferruginosa.

O nível de ataque de umidade e presença de sais influenciam diretamente na patologia, dependendo da situação é possível que se formem estalactites. Quando a eflorescência se situa entre o reboco e a parede é formado um plano capilar por onde a água exerce força, podendo descolar o substrato. Vale salientar que os sais também podem vir da atmosfera ou de solo contaminado, nesse caso o maior causador de patologias é o sulfato, que surge devido a atividades industriais (VERÇOZA, 1983).

As criptoflorescências são muito semelhantes as eflorescências, mas elas são causadas principalmente por sulfatos. Os sulfatos no contato com a água aumentam muito em volume e se estiverem próximos da superfície, mas numa camada interior, podem desagregar o material causando trincas e rachaduras (VERÇOZA, 1983).

2.3.5 Gelividade

A água, quando dentro dos tubos capilares de uma estrutura, congela a temperaturas acima de 0°C, chegando em até 6°C. Porém, quando congelada, ela aumenta seu volume, e quando se apresenta em um local muito apertado, a pressão que ela faz sobre a superfície é suficiente para ela voltar ao estado líquido. Por esse motivo a gelividade ocorre somente nas partes mais externas das estruturas, formando gelo que desagrega a superfície (VERÇOZA, 1983).

2.3.6 Descolamento por empolamento e pulverulência

Os problemas mais comuns em revestimentos em argamassa são os descolamentos. Eles podem ocorrer devido à expansão da cal hidratada, que causa o empolamento, ou pela falta de aderência entre as placas e o substrato, decorrente da má compatibilização entre os materiais (BAUER, 1994).

Bauer (1994) ainda destaca que ambas situações de descolamento podem ou não virem acompanhadas da pulverulência, que é o esfarelamento da argamassa causada pela presença de altas concentrações de cloretos.

Nos revestimentos de argamassa compostos de emboço e reboco que recebem pintura, é mais comum o aparecimento dessa patologia no reboco. Com a desagregação, a película de tinta se destaca com facilidade pois carrega partículas de reboco no seu verso. Nos casos de revestimentos de massa única (também conhecido como reboco paulista), a camada se esfarela totalmente (ORSE, 2014).

2.4 Execução de paredes com alvenaria de vedação

A Norma NBR 8545 exemplifica o processo correto de execução de paredes em alvenaria. Entre os principais elementos dela estão blocos e placas cerâmicas e suas respectivas argamassas de assentamento. Os espaços entre os blocos que são preenchidos com argamassa são chamados de juntas, elas podem ser feitas amarradas, onde apresentam-se descontínuas na vertical, ou juntas a prumo, que ocorre quando as juntas verticais são contínuas (ABNT, 1984).

Ainda segundo a mesma norma, as paredes devem ser feitas de forma que se use o maior número de blocos inteiros e o assentamento deles deve ser executado com juntas de amarração. Ainda, recomenda-se molhar os componentes antes de seu

emprego e devem ser previstos serviços de impermeabilização, entre outros requisitos citados na norma (ABNT, 1984). A Figura 7 representa um esquema com as camadas principais que podem compor uma parede de alvenaria de vedação.



Fonte: André (2016).

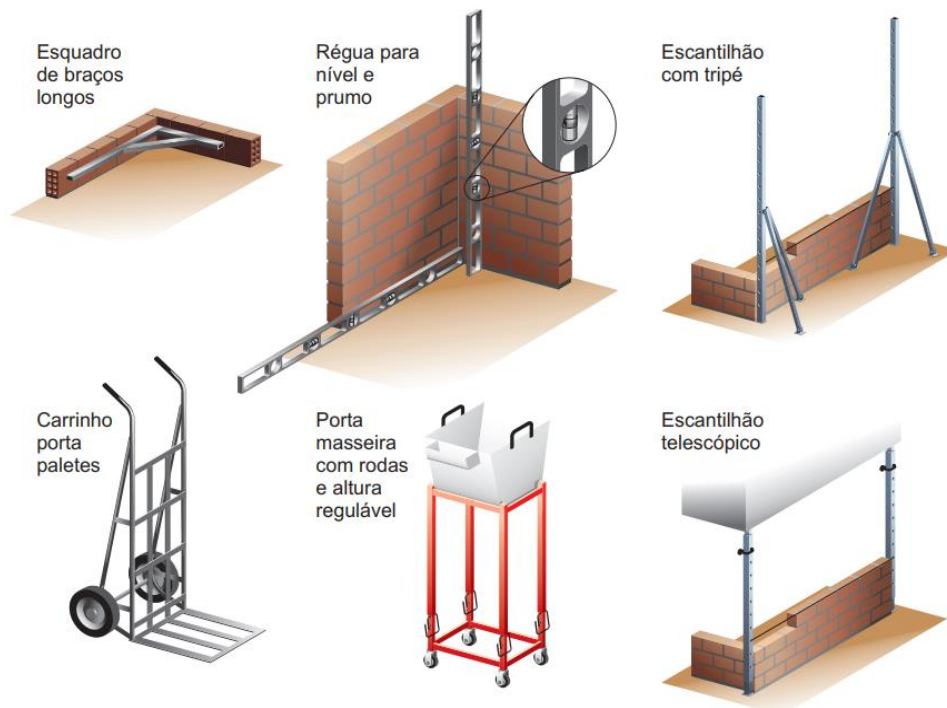
A Figura 8 demonstra um exemplo do procedimento da execução de paredes e a Figura 9 os equipamentos auxiliares. Existem vários procedimentos para a execução que podem ser adotados, porém há alguns passos essenciais que Azevedo (2009) cita para se obter um melhor resultado na execução: posicionar os cantilhões no prumo nas extremidades do plano de parede; Limpar e umedecer a superfície que receberá a fiada de marcação; Esticar a linha de um escantilhão para o outro; Iniciar a parede assentando-se os tijolos de canto, que servirão de guia; Assentar os tijolos de acordo com a primeira fiada do projeto; Verificar o alinhamento das faces e o nivelamento de cada tijolo, a medida em que são assentados; Posicionar novamente os escantilhões e a linha, na parede a ser elevada; Assentar os tijolos utilizando juntas verticais e horizontais; Verificar espessura e nivelamento das juntas; Assentar tacos, vergas e contravergas de acordo com o projeto.

Figura 8 – Execução de parede em alvenaria.



Fonte. Campos (2017).

Figura 9 – Equipamentos auxiliares na execução das paredes de alvenaria.



Fonte: Thomaz (2009)

2.4.1 Blocos Cerâmicos

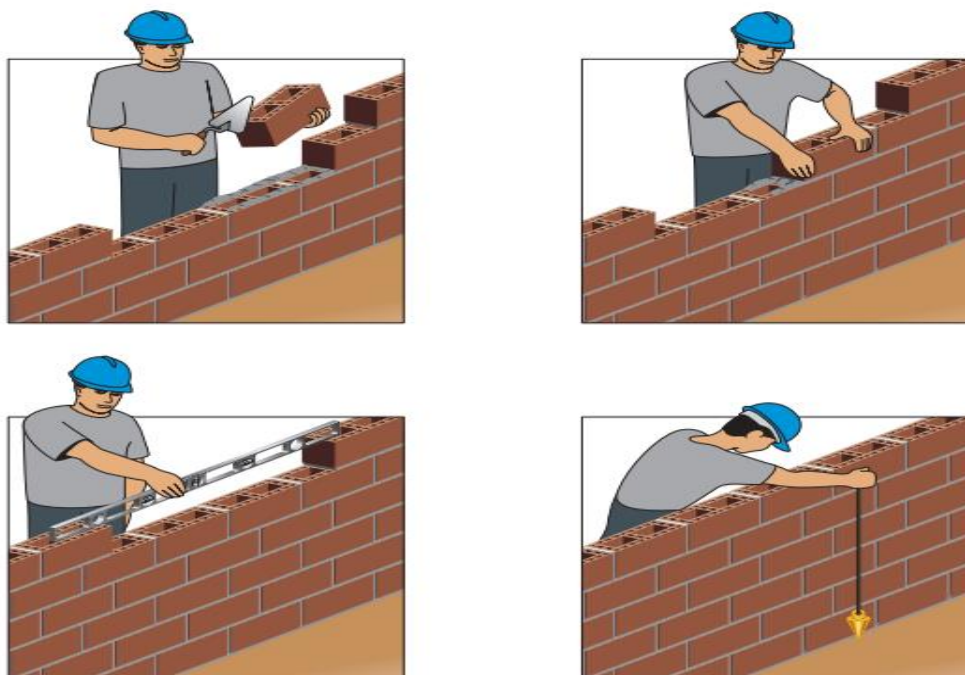
Existem requisitos gerais que devem ser exigidos no recebimento dos blocos para evitar futuras patologias. Os detalhes de fabricação devem ser descritos, pois é necessário que o bloco tenha sido produzido por conformação hidrolástica e que tenha passado por um processo de queima a altas temperaturas. Em uma das faces externas do bloco é obrigatório haver a identificação da empresa e as dimensões

com desvio máximo de 5mm do indicado, quaisquer defeitos sistemáticos como quebras ou deformações não devem ser aceitos (ABNT, 2005).

Aspectos geométricos devem ser considerados, como desvios de esquadro, planeza das faces e área bruta para o cálculo da tensão de ruptura. A massa seca do bloco deve ser analisada, visto que o peso específico tem ligação com a resistência do bloco. Além disso, é necessário determinar a absorção de água, pois ela deve estar entre 8% e 22%. Os blocos de vedação com furo na horizontal devem possuir resistência maior ou igual a 1,5MPa, já os com furo na vertical precisam de 3MPa ou mais (ABNT, 2005).

Ao iniciar uma fiada a argamassa de assentamento deve estar estendida sobre a fiada anterior, bem como na face lateral dos blocos a serem assentados. A argamassa assentada pode estar presente em toda a superfície do bloco ou em cordões, desde que haja uma quantidade suficiente para que parte da argamassa seja expelida quando o bloco for assentado. O bloco deve ser colocado em sua posição definitiva mediante forte pressão para baixo e para o lado. Todos os ajustes de nível, prumo e espessura de juntas devem ser feitos logo após o assentamento (Figura 10), sendo a espessura de junta tolerada de $10 \pm 3\text{mm}$ (THOMAZ et al, 2009).

Figura 10 – Encabeçamento dos blocos, pressão no assentamento, controle do prumo das paredes e do nível



Fonte: Thomaz (2009)

2.4.2 Argamassa de revestimento vertical

As superfícies lisas, pouco absorventes ou com absorção heterogênea de água, devem ser preparadas previamente ao assentamento de azulejos com argamassa tradicional ou com execução de camada de regularização e as superfícies de concreto podem ou não ser picotadas. Caso haja necessidade da execução de camada de regularização, essa deve ser executada com a presença de taliscas e guias para se obter o máximo adensamento, nivelamento e acabamentos desejados (ABNT, 1983).

No caso de produção de argamassa *in loco*, recomenda-se que a argamassa de chapisco possua agregados miúdos com diâmetro máximo menores ou iguais a 4,8mm e para a argamassa de regularização e emboço um valor de 2,4mm (ABNT, 2009).

Para um melhor controle da argamassa de assentamento e revestimento, existem requisitos mecânicos e reológicos que podem ser verificados, como retenção de água, teor de ar incorporado e resistência à compressão. A determinação dessas características pode dar uma melhor noção do que ocasionou algum tipo de patologia na construção (ABNT, 2001).

Um revestimento feito em argamassa varia em espessura dependendo da posição da parede, sendo necessário para uma parede interna de 5 a 20mm de espessura, e para uma parede externa de 20 a 30mm (ABNT 2013b).

2.5 Impermeabilização em paredes de alvenaria

A impermeabilização de paredes de alvenaria é obrigatória segundo a NBR 9575 quando há a necessidade de estanqueidade, como no caso de tijolos em contato com solo.

Muitas são as alternativas de execução de sistemas de impermeabilização, no caso citado acima, por exemplo, é previsto que os primeiros 30cm de tijolos sejam assentados com argamassa acrescida de aditivo hidrófugo feita *in loco*, não podendo ser industrializada, e deve ser composta por areia, cimento Portland, aditivo hidrófugo e água potável. O reboco também deve ser feito do mesmo material e ser aplicado 15cm pelas paredes internas e 60cm pelas externas, além disso, o uso de cimento

polimérico ou mantas asfálticas também são alternativas válidas (Figura 11). (VERÇOZA, 1983)

Figura 11 – Impermeabilização de paredes enterradas.



Fonte: AECWEB (2018)

Existem casos onde as paredes já foram atingidas por infiltração providas do solo ou da atmosfera. Quando são atingidas por umidade por capilaridade do solo existem alguns processos possíveis para a correção, como a eletrosmose, capeamento com argamassa impermeabilizada, utilização de concreto impermeável ou pinturas asfálticas e poliméricas. As infiltrações devido à água de chuva podem ser combatidas com a utilização de elementos de proteção como calhas e pingadeiras e retirada de reboco poroso para a aplicação de argamassa impermeável, bem como pinturas que deem mais impermeabilidade à superfície (VERÇOZA, 1983).

Nesse contexto, Klein (1999) cita as consequências das manifestações patológicas causadas devido à infiltração de água em pisos e paredes: manchas permanente devidas ao rompimento de canalizações; gotejamento; manchas próximas ao forro; manchas próximas ao piso; corrosão de armaduras da laje; escorrimento; degradação dos materiais de revestimento; descolamento de rebocos e materiais de revestimento; desgaste de pintura; manchas nos peitoris das janelas; manchas sinuosas devidas às fissuras nas paredes; lixiviação do concreto; degradação dos blocos cerâmicos e revestimento pelo ataque de sais;

Os Quadros 1, 2 e 3 resumem condições de vazamentos em pisos e paredes e ligam a origem da umidade com os erros provenientes de projeto, erros executivos, materiais inadequados ou com defeitos e manutenção preventiva e corretiva.

Quadro 1 – Vazamentos em pisos e paredes com ruptura de elementos internos.

Origem	Erros	Causas
Ruptura de elementos dentro da estrutura	Projeto	Tubulação má dimensionada
		Especificações inadequadas para os materiais
	Execução	Uniões mal executadas
		Pouco caimento
		Caixas trincadas
		Impermeabilização mal executadas
	Materiais	Baixa qualidade
		Uso inadequado
	Manutenção	Substituição de canalização obstruída

Fonte. Adaptada de KLEIN (1999).

Quadro 2 – Vazamentos em pisos e paredes com Infiltração de água de chuva.

Origem	Erros	Causas
Infiltração de água de chuva	Projeto	Incompatibilidade do revestimento externo de argamassa com as condições ambientais
		Saliências indesejadas nas fachadas que permitem a infiltração de águas
		Especificação inadequada de materiais
		Projeto de esquadrias inadequadas
	Execução	Uso de materiais e traços inadequados para os revestimentos
		Fissuração mapeada do reboco (retração)
		Técnicas de execução de revestimentos mal empregadas
		Vedação mal executada nas esquadrias
		Camadas excessivas de revestimento
		Falta de aderência do revestimento no substrato
	Materiais	Baixa qualidade, alta porosidade
		Baixa resistência
	Manutenção	Falta de pintura de proteção
		Falha na impermeabilização dos pisos (como ocorre em banheiros)
		Falta de reparo das fissuras de movimentação termo higroscópicas

Fonte. Adaptada de KLEIN(1999).

Quadro 3 – Vazamentos em pisos e paredes com Infiltração de água do solo.

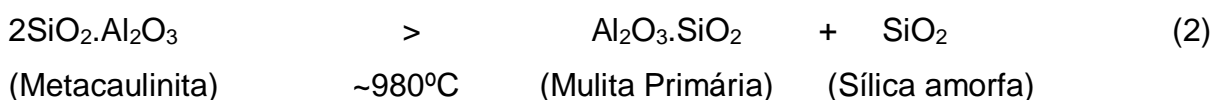
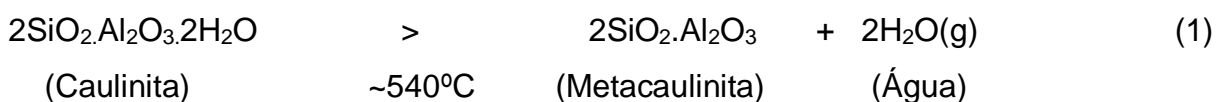
Origem	Erros	Causas
Água do solo que ascende por capilaridade	Projeto	Falta de sistema de impermeabilização dos baldrame
		Falta de sistemas de drenagem
		Especificação errada dos materiais
		Projeto de esquadrias inadequado
	Execução	Execução inadequada da impermeabilização ou de outro sistema de barreira contra a umidade
	Materiais	Argamassa e concreto muito permeáveis
		Inadequado material para a impermeabilização
	Manutenção	Entupimento do sistema de drenagem

Fonte. Adaptada de KLEIN (1999).

2.6 Caulinita e Metacaulinita

A caulinita é um aluminossilicato hidratado, que possui cor branca e granulometria geralmente fina. Ela é muito utilizada na indústria de papel e celulose quanto esta apresenta-se com alto grau de pureza, mas também pode ser utilizada para a produção de pigmentos, fazer parte da composição de cerâmicas, tinta ou vernizes, produtos farmacêuticos e veterinários, e de borrachas e fertilizantes. (SILVA, 2001).

Quando aquecida a aproximadamente 540°C a caulinita sofre reações de desidroxilação e tem como produto a metacaulinita e água, e quando a temperatura vai acima de 980°C, a metacaulinita se transforma em mulita e sílica amorfa, conforme demonstrado nas Equações 1 e 2 (CARNEIRO et al., 2003).



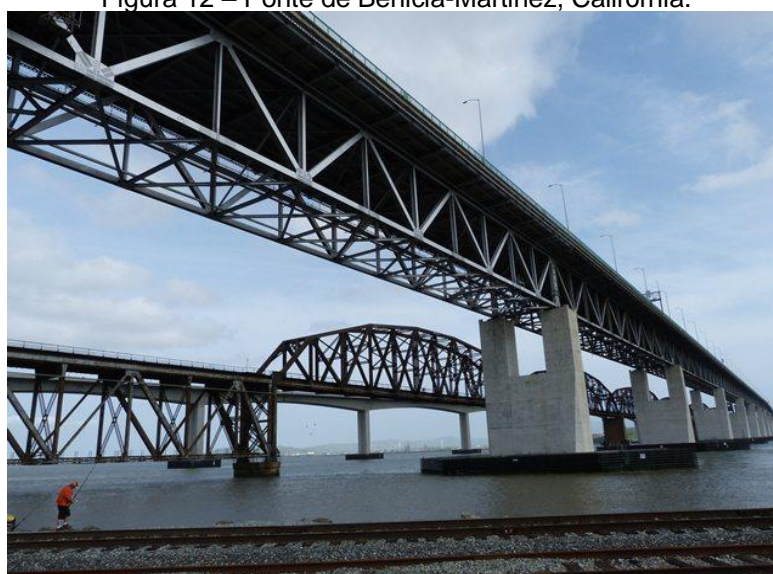
Como a reação da caulinita, quando aquecida a temperaturas entre 540°C e 980°C, libera metacaulinita e água, a metacaulinita naturalmente se apresenta como um material desidratado, e, portanto, hidrófilo. Diante desse contexto, Cabrera e Lynsdale (1996) associaram as propriedades hidrofílicas da metacaulinita com a

produção de pastas de concreto. Eles adicionaram metacaulinita, substituindo-se parcialmente até 15% de massa do cimento Portland na composição de concretos, e foi constatado uma maior produção de produtos hidratados devido à reação pozolânica, que resultou no aumento da resistência a compressão. Essa substituição possibilitou Souza (2008) a elaborar peças cerâmicas com propriedades mecânicas satisfatórias para o comércio.

Além da maior resistência a compressão, a substituição do cimento por metacaulinita também gera uma baixa porosidade, e isso contribui em várias outras características do concreto, pois a metacaulinita faz com que os poros se tornem menores, deixando a matriz cimentícia menos permeável. Entre outras características melhoradas estão a maior resistência a ataque de ácidos, que protege o concreto e eventuais armaduras, reduz reações de álcali-silicatos, melhora a resistência a sulfatos, maior resistência a eflorescências, redução de liberação de CO₂, diminuição do peso do concreto, e todas essas características contribuem para a maior durabilidade do concreto. (BEZARD, 2018)

Com o objetivo de utilizar essas vantagens na construção civil, profissionais da construção vêm empregando o uso de metacaulinita de diversas formas. Como ocorreu na ponte de Benicia-Martinez, na Califórnia, onde o concreto com metacaulinita foi utilizado para a redução da permeabilidade, melhora da resistência, diminuição do peso e diminuição de ataque de cloretos (Figura 12). (BEZARD, 2018)

Figura 12 – Ponte de Benicia-Martinez, Califórnia.



Fonte. Bridge Browser (2013).

Outro caso da utilização da metacaulinita foi na hidrelétrica Pinalito, na República Dominicana, onde sua utilização diminuiu a incidência das reações álcali-silicatos dos agregados locais (Figura 13). (BEZARD, 2018)

Figura 13 – Hidrelétrica Pinalito, República Dominicana.



Fonte. BEZARD (2018).

2.7 Ensaio do cachimbo – medidas de permeabilidade

O ensaio do cachimbo é utilizado para se determinar a taxa de permeabilidade do substrato em estudo, e possui grande importância no estudo proposto pela pesquisa. O ensaio consiste na determinação do volume de água absorvido, sob baixa pressão, pela superfície de um revestimento, após decorridos determinados períodos de tempo: 5, 10, 15, 30 e 60 minutos. (RILEM,1980)

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de averiguar a eficácia da argamassa de revestimento vertical com metacaulinita, foram executadas paredes com revestimento apresentando diferentes concentrações de metacaulinita, que foram submetidas à intensa umidade, para comparação do desempenho dos revestimentos utilizados na redução de ocorrência de patologias relacionadas à presença de umidade.

3.1 Processo de fabricação da Metacaulinita

A caulinita utilizada é passante na peneira 325 Marsh e a metacaulinita obtida é produto da queima de caulinita a aproximadamente 800°C, que é utilizada na composição da argamassa de revestimento vertical.

A caulinita foi colocada dentro da mufla em uma camada de 10mm de espessura, a mufla é representada pela Figura 14.

Figura 14 – Mufla com camada de metacaulinita.



Fonte: Do Autor (2017).

Dentro da mufla a caulinita foi exposta a uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto até alcançar os 800°C, permanecendo nessa temperatura durante mais uma hora. O resfriamento foi feito com o equilíbrio térmico com o ambiente.

3.2 Massa específica dos componentes da argamassa

Para a obtenção da massa específica da metacaulinita é utilizado o ensaio com o frasco volumétrico de Lê Chatelier com querosene, pois a metacaulinita reage com água. O mesmo ensaio não é necessário para a areia, pois é inerte, podendo ser feito o ensaio do picnômetro, com utilização de água. Ambos ensaios necessitam de ao menos três medições, que possuam valores que não destoem mais de $0,01\text{g/cm}^3$, para o cálculo da média.

3.3 Granulometria da areia

Para o ensaio de granulometria da areia foi necessário o conjunto de peneiras da série normal, que variavam de $0,075\text{mm}$ até $4,8\text{mm}$ de abertura de furos. No experimento foi peneirado aproximadamente $1,5\text{Kg}$ de areia. Essa quantidade maior que a quantidade que cabe nas peneiras, por esse motivo parcelas da areia foram passadas por cada peneira, até que toda areia fosse peneirada.

As parcelas de areia foram armazenadas em recipientes tarados em balança com precisão de 2 casas após a vírgula, em gramas, para posterior obtenção das parcelas retidas em cada peneira. Com os resultados de massa de areia retida por peneira, foi possível obter as porcentagens acumuladas de massa, e traçar a curva granulométrica do material em questão.

3.4 Ensaio do cachimbo

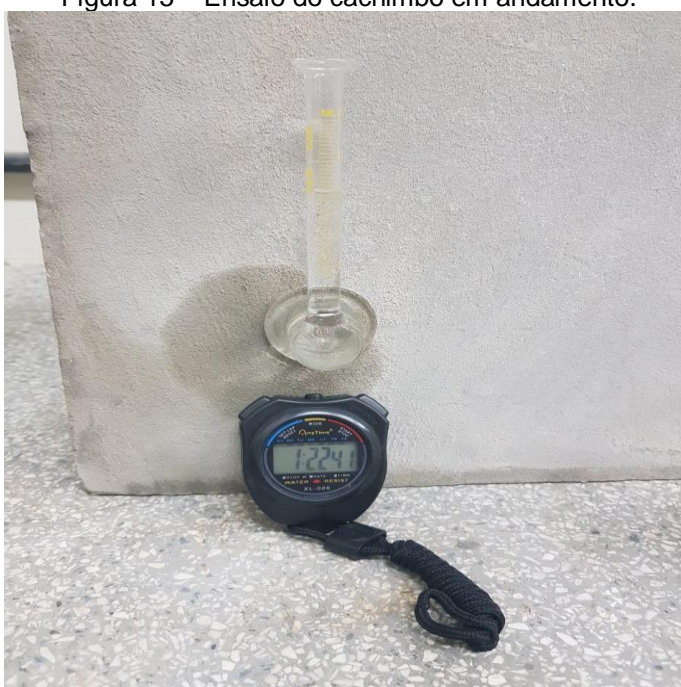
O ensaio do cachimbo teve que passar por algumas alterações, que são explicadas nos próximos parágrafos.

Inicialmente são feitos testes para se determinar se os tempos de 5, 10, 15, 20, 30 e 60 minutos são suficientes para a determinação da permeabilidade das paredes. Com os resultados dos testes, percebe-se que existe a necessidade de algumas alterações nos processos padronizados do ensaio do cachimbo na literatura, pois os substratos possuem diferenças muito grandes de permeabilidade, sendo que em alguns a água demorou 10 minutos para passar da marcação de 4ml até a de 0ml , e outros demoraram mais de 4 horas. Por esse motivo, o processo utilizado é apresentado a seguir.

Ao final dos ataques de umidade previstos no item 3.6, as paredes foram secas em estufa, a aproximadamente 100 °C, durante três dias, para a determinação da massa seca. Após as paredes entrarem em equilíbrio com o ambiente, as superfícies foram limpas e foram colados três cachimbos por parede, com silicone de cura neutra. Eles foram posicionados de forma triangular, com distância aproximada de 20cm entre eles.

Com a utilização de uma piceta, os cachimbos foram enchidos com água até o topo, passando da marcação de 4ml, pois a alta permeabilidade de algumas paredes impossibilitava o enchimento de água precisamente na marcação de 4ml. Assim, o início da marcação de tempo iniciou quando a água se encontrou na marcação de 4ml, e acabou quando chegou na marcação de 0ml. O tempo foi marcado toda vez que a água avança 0,5ml, diferentemente do disposto na literatura, também devido às grandes diferenças de permeabilidade entre as paredes. A Figura 15 demonstra o ensaio em andamento.

Figura 15 – Ensaio do cachimbo em andamento.



Fonte: Do Autor (2018).

Com os resultados, cada cachimbo possuirá uma taxa média de absorção de água, esses valores são analisados também por paredes, e por grupos de paredes. As alterações no ensaio foram necessárias pois para a pesquisa é importante que se consiga comparar as taxas de absorção entre as paredes.

3.5 Execução de paredes e respectivos testes

Abaixo serão mostrados os materiais e métodos utilizados para a execução das paredes.

3.5.1 Materiais

Para a execução das paredes foram necessários blocos cerâmicos vazados com dimensões 9,0x19,0x19,0cm (Largura x Altura x Comprimento), argamassa industrializada para assentamento dos blocos e argamassa de revestimento vertical para o revestimento das paredes.

No assentamento de blocos e reboco é usado argamassa “Massa Pronta” da Votomassa.

O cimento é “cimento Portland pozolânico CPIV-32”, a cal é da marca CULIN, com 2,5g/cm³ de massa específica, a areia foi doada pela empresa Azul Argamassas e Concretos.

3.5.2 Execução

Para o experimento foram elaborados três grupos de paredes, cada grupo possuindo três unidades, cada fiada da parede composta por dois blocos, assentados até completar duas fiadas, com blocos amarrados.

Os blocos foram assentados observando-se a ortogonalidade, nível e prumo, não sendo necessário o uso de cantilhões e linhas, visto as pequenas dimensões das paredes. O chapisco foi aplicado em toda a superfície, então a argamassa de revestimento foi colocada sobre todas as superfícies das paredes. Uma caixaria feita de madeira foi utilizada para a obtenção mais precisa da espessura final desejada da camada de revestimento.

A segunda fiada de blocos é composta de um bloco inteiro e as metades de um terceiro para existirem juntas amarradas. A Figura 16 mostra uma das paredes sendo executada.

Figura 16 – Execução de parede de alvenaria, com destaque nas juntas de amarração.



Fonte: Do Autor (2018).

A argamassa de revestimento vertical é aplicada e nivelada com o uso de colher de pedreiro e desempenadeira. As juntas de amarração da argamassa de assentamento possuem 15mm de espessura, o chapisco 5mm e a camada única 15mm. Durante o assentamento, foi utilizado taboas de madeira como limitadores para se obter a mesma espessura em todas as paredes (Figura 16).

A composição da argamassa de revestimento vertical tem traço de 1:1:3:1 (cimento:cal:areia:água), em volume. No primeiro grupo de paredes não há utilização de metacaulinita. No segundo e terceiro grupos há substituição da cal pela metacaulinita, sendo no segundo grupo a substituição equivalente à metade da cal em volume, e no terceiro grupo a substituição total do volume de cal pela metacaulinita.

As paredes do grupo 1 foram numeradas como 1, 2 e 3, as paredes do grupo 2 como 4, 5 e 6 e as paredes do grupo 3 como 7, 8 e 9.

O tempo de espera para cada etapa de execução segue o seguinte: Primeiramente foi assentado os blocos, 1 mês depois executou-se o chapisco e após 1 semana a massa única foi executada. Os tempos de espera por etapa são superiores aos recomendados por norma, pois devia-se garantir, para a pesquisa, que as paredes não possuíssem muita umidade residual ao início das simulações de umidade em laboratório.

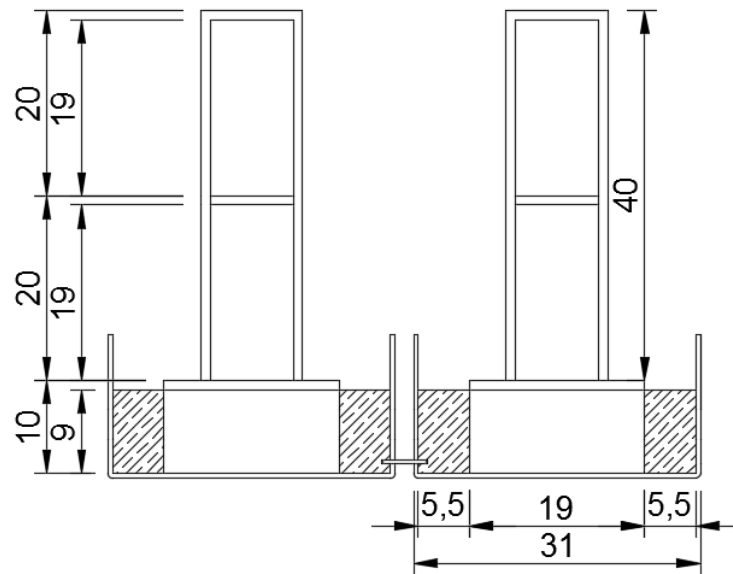
3.5.3 Esquema de posicionamento das paredes no sistema de umidade

As paredes foram posicionadas dentro de recipientes impermeáveis onde foi possível acumular água de forma controlada. Entre a base da parede e o recipiente foi colocado um patamar que fez com que a água não entrasse diretamente em

contato com a parede, com o intuito de prevenir patologias muito aceleradas e promover o sentido ascensional de água.

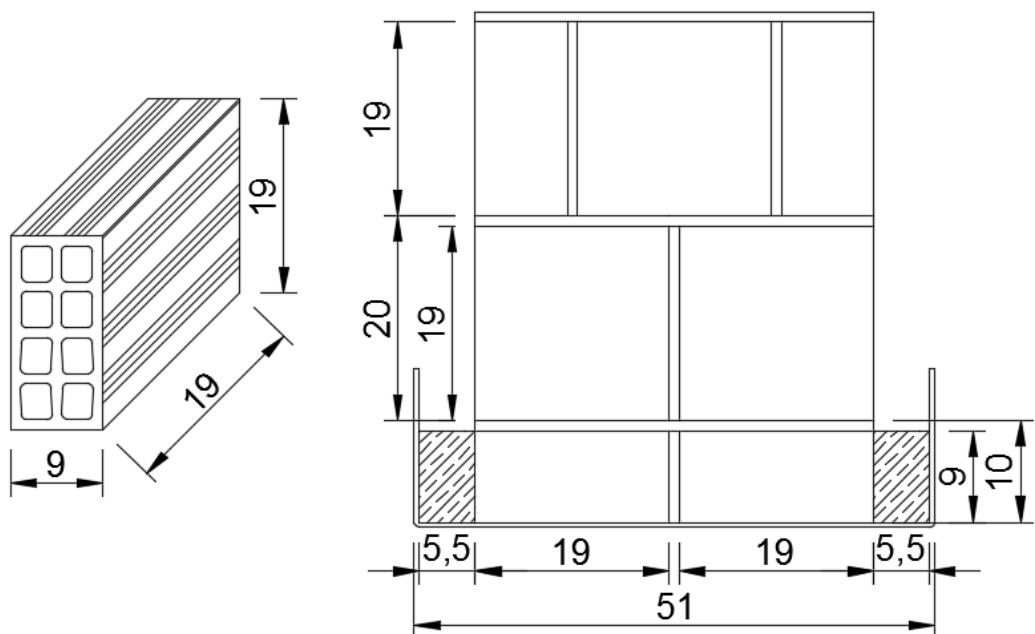
Esse patamar é constituído por dois blocos cerâmicos iguais aos utilizados na execução das paredes, mas devem ser posicionados deitados (com a altura do patamar igual à largura do bloco). A Figura 17 e a Figura 18 mostram o sistema de paredes com os recipientes.

Figura 17 – Esquema de paredes executadas (cm).



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 18 – Esquema de paredes e bloco cerâmico (cm)



Fonte: Do Autor (2017).

As paredes não foram coladas com o patamar, pois elas precisaram ser pesadas no procedimento de cálculo de umidade.

Após 1 mês da realização do reboco em todas as faces das paredes, elas foram direcionadas ao Laboratório de Solos e Materiais do campus Centro do DACC/IFSC/Florianópolis-SC, longe de ventos e outras periculosidades.

3.6 Simulação de umidade

Para a presença de infiltração de água é simulado um filete de água com altura controlada um pouco abaixo das bases das paredes para provocar a ascensão da água por capilaridade. O nível da água é fixo e se apresenta a 1 cm abaixo do topo dos patamares em que as paredes foram colocadas, para que não houvesse o contato direto da água com a parede.

O nível foi mantido constante automaticamente com a utilização de um nível de boia acoplado a um pequeno reservatório de água. Todos os recipientes individuais das paredes são conectados pelo princípio dos vasos comunicantes, onde haviam furos que possuem tubos e fazem a ligação para a água passar entre os recipientes, com o objetivo de todos permanecerem com o mesmo nível de água. A Figura 19 mostra o esquema completo, com as respectivas numerações das paredes.

Figura 19 – Paredes sobre sistema de umidade.



Fonte: Do Autor (2018).

Para simular uma variação de umidade, existem dois ataques de umidade, e duas cessações de umidade. Inicialmente todas as paredes são posicionadas sobre

o patamar úmido, esse foi o primeiro ataque de umidade. após duas semanas o ataque de umidade foi cessado com a utilização de uma lona plástica impermeável entre as paredes e os patamares, e permaneceram duas semanas secando, completando um ciclo de ataque e cessação de umidade.

O segundo ciclo segue da mesma forma, porém a duração do segundo ataque de umidade e da segunda cessação de umidade foram de 3 semanas cada.

Os gráficos baseados na variação de umidade das paredes são elaborados com as divisões de Ataque 1, Cessação 1, Ataque 2 e Cessação 2.

3.7 Determinação da umidade global

Antes do início da simulação de umidade as paredes foram levadas a uma balança com precisão de uma casa após a virgula em gramas, para serem pesadas. Depois da pesagem, as paredes foram colocadas dentro do recipiente sobre o patamar para o início da simulação de umidade. As paredes então foram pesadas individualmente, de 3 a 5 vezes por semana, nos dias úteis.

Ao final das simulações de umidade as paredes foram secas em estufa para se determinar a massa seca. Com o valor da massa seca das paredes e as variações de peso, devido à simulação de umidade, calculou-se a umidade presente em cada momento da simulação e, com esses valores, foram elaborados gráficos e curvas de tendência. Dessa forma foi possível avaliar as variações de umidade entre os grupos com reboco sem metacaulinita, com parcial substituição de cal por metacaulinita, e com total substituição de cal por metacaulinita.

3.8 Determinações de umidade atmosférica e temperatura

O local onde foram feitas as simulações de umidade não havia incidência de sol nem vento, porém não possuía umidade e temperatura controladas. Dessa forma, foi utilizado um Dataloger capaz de medir temperatura e umidade atmosférica precisamente, durante o experimento, de 15 em 15 minutos. O Dataloger é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Dataloger.



Fonte: Do Autor (2018).

Foram analisadas as umidades das paredes juntamente com os dados do Dataloger, de forma a averiguar se a variação de umidade e temperatura dentro do laboratório, no local onde as paredes estavam, tinha influência nos valores de umidade das paredes durante o experimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos dos ensaios laboratoriais e das simulações de umidades descritas na metodologia. Também serão avaliadas as possibilidades de utilização da argamassa de revestimento vertical com metacaulinita, bem como sua eficácia no combate de patologias relacionadas a umidade em paredes de alvenaria de vedação.

4.1 Condições de umidade das paredes, antecedente aos ensaios

As paredes foram elaboradas em local aberto, porém coberto, onde havia incidência de ventos. Por esse motivo, as umidades iniciais das paredes foram levadas em consideração na análise das curvas de tendência de umidade no item 4.7. Abaixo está apresentado o Quadro 4, que mostra as umidades iniciais das paredes, na primeira medição do sistema de umidade.

Quadro 4 – Resultados do ensaio de massa específica do tubo de lê Chatelier.

Umidades Iniciais das paredes (%)			
Grupos	Paredes	Umidade	Média
Grupo 1	1	3,47	3,71
	2	4,70	
	3	2,96	
Grupo 2	4	2,91	3,18
	5	3,25	
	6	3,37	
Grupo 3	7	2,11	2,72
	8	2,54	
	9	3,51	

Apesar do ambiente não controlado, todas as paredes foram submetidas às mesmas condições de temperatura e umidade. Analisando as médias por grupo, percebe-se que a umidade inicial foi inversamente proporcional à concentração de metacaulinita. O que sugere que as paredes com metacaulinita, no ambiente com presença de vento, secaram mais que as paredes com maior concentração de cal.

4.2 Massa específica da metacaulinita e da areia

Os resultados de massa específica da metacaulinita estão apresentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 1 – Resultados do ensaio de massa específica do tubo de lê Chatelier.

Valores de massa específica (g/cm ³)			
1	2	3	Media
2,4768	2,4683	2,4703	2,47

Percebe-se que a massa específica da metacaulinita é próxima ao da cal hidratada, uma vez que a cal utilizada na mistura possui 2,5 g/cm³. O que faz com que a substituição de cal por metacaulinita em volume se torne mais confiável, pois aproxima-se da substituição em massa.

Os resultados de massa específica da areia no ensaio do picnômetro estão apresentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 2 – Resultados do ensaio de massa específica do Picnômetro.

Valores de massa específica (g/cm ³)			
1	2	3	Media
2,6172	2,6274	2,6353	2,63

4.3 Granulometria da areia

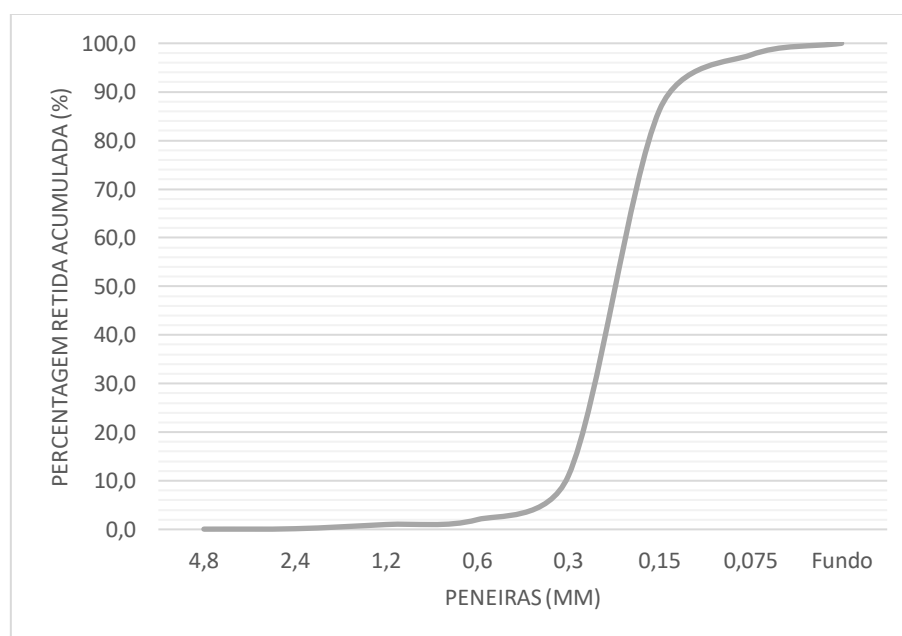
Os resultados das massas retidas de areia obtidos em laboratório estão apresentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 3 – Dados de material retido por peneira da areia utilizada no traço da argamassa de revestimento vertical.

Peneiras (mm)	Peso retido (g)	Porcentagem de massa retida (%)	Porcentagem de massa retida acumulada (%)
4,8	0,8	0,05	0,05
2,4	1,33	0,09	0,14
1,2	11,2	0,75	0,89
0,6	28,52	1,9	2,79
0,3	67,04	4,46	7,25
0,15	1186,92	79	86,25
0,075	170,16	11,33	97,58
Fundo	36,51	2,43	100
Total	1502,48		

Com os resultados do **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi possível traçar a curva granulométrica da areia em questão, de acordo com a Figura 21.

Figura 21 – Curva Granulométrica - areia.



Fonte: Do Autor (2018).

Percebe-se pela análise dos dados e da curva granulométrica da areia, que ela é composta majoritariamente por agregados miúdos, possui graduação uniforme, com diâmetro máximo de grãos de 0,6mm e módulo de finura de 2,95. E que se comporta como uma areia fina, adequada para o uso em argamassas de acabamento.

4.4 Ensaio do cachimbo

Durante o ensaio do cachimbo constatou-se que houve o surgimento de manchas de umidade, que aumentavam conforme o tempo. Em contraste, a Figura 22 mostra uma parede do Grupo 1, que é composto apenas por cal, nos primeiros 10 minutos do ensaio do cachimbo, apresentando nítidas manchas de umidade.

Figura 22 – Manchas de umidade presentes em paredes do Grupo 1 nos primeiros 10 minutos de ensaio do cachimbo.

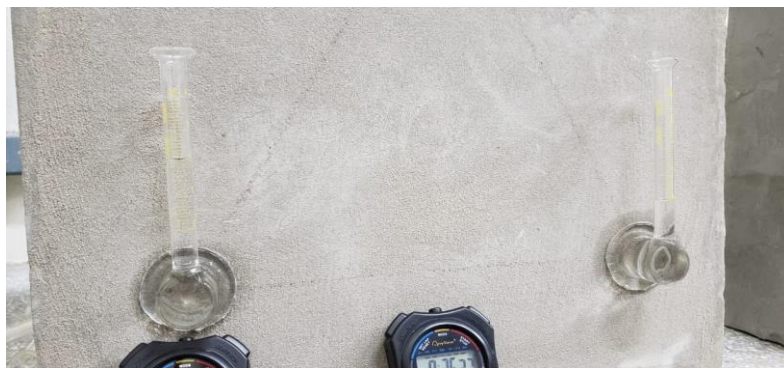


Fonte: Do Autor (2018).

Em comparação, a Figura 23 mostra as manchas de umidade de uma parede do Grupo 3, que possui total substituição de cal pela metacaulinita, após um total de 40 minutos de ensaio. Nela constata-se que o material apresentou manchas muito pouco nítidas em comparação às do Grupo 1. Sugerindo que a argamassa com metacaulinita possui maior absorção de água, bem como maior resistência ao surgimento de manchas de umidade.

É pertinente salientar que aos 40 minutos de ensaio, no cachimbo da direita, presente na Figura 23, ainda existia água em seu interior, apesar do filete de água ter chegado na marcação 0ml aos 33 minutos de ensaio. Então ainda havia infiltração de água, e, portanto, a mancha de umidade deveria continuar aumentando conforme o decorrer do tempo, no entanto, durante o ensaio as manchas do Grupo 3 continuaram diminuindo, ou se apresentavam muito pouco nítidas.

Figura 23 – Manchas de umidade presentes em paredes do Grupo 3 aos 40 minutos de ensaio do cachimbo.

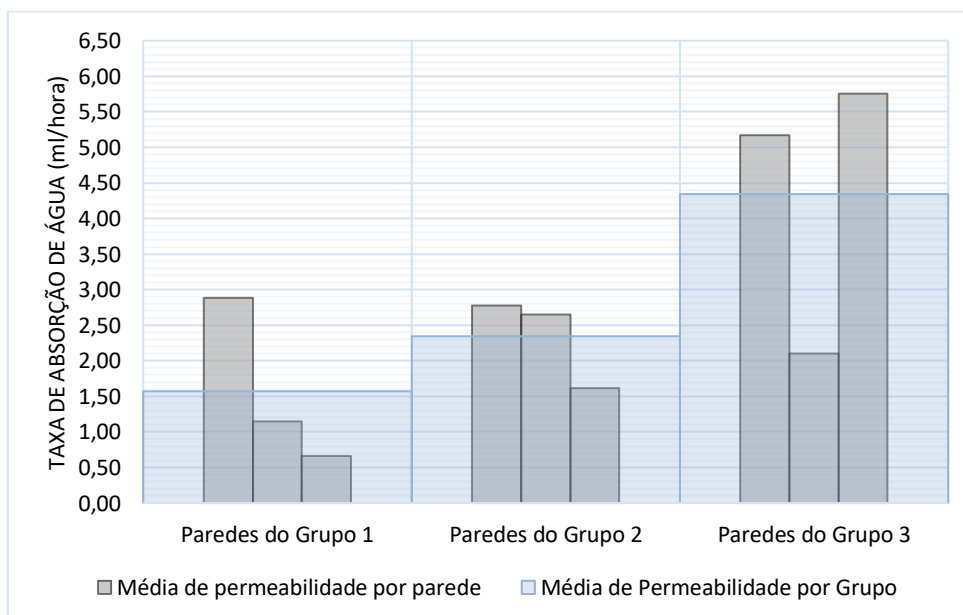


Fonte: Do Autor (2018).

Os valores de permeabilidade de cada ensaio foram calculados utilizando a ferramenta de criação de linhas de tendências lineares do programa Excel, onde foram tiradas as taxas de absorção de água pelas fórmulas das retas obtidas.

Para cada parede, obteve-se a média dos valores de permeabilidade e, por fim, a média de permeabilidade de cada Grupo, que estão representados pela Figura 24, em ml/hora.

Figura 24 – Permeabilidades de água médias dos grupos de paredes.



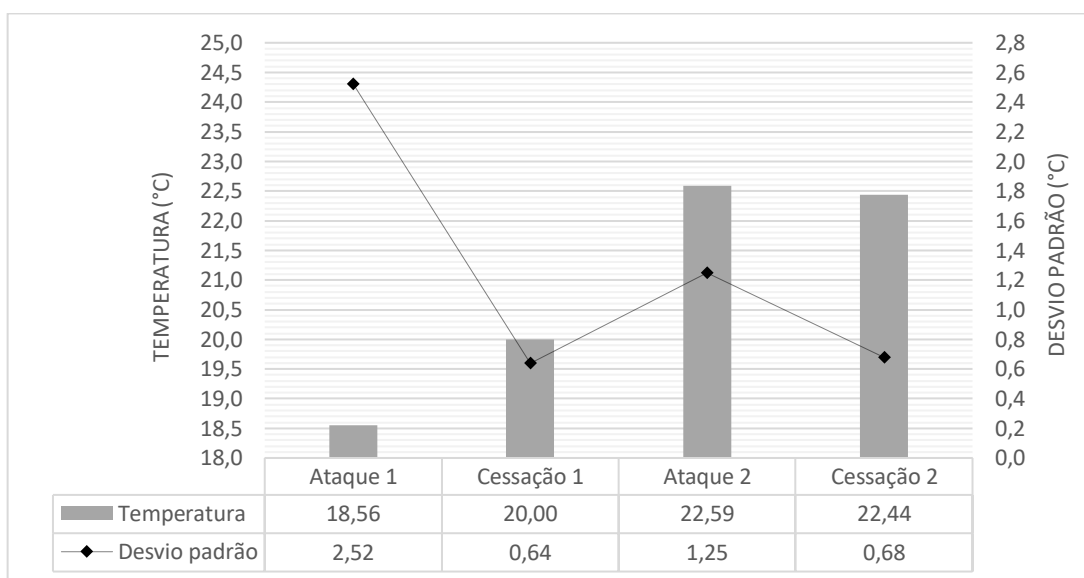
Fonte: Do Autor (2018).

Pela Figura 24 percebe-se que houve um aumento da absorção de água proporcional à quantidade de cal substituída por metacaulinita na argamassa de revestimento vertical.

4.5 Dados de temperatura e umidade atmosférica

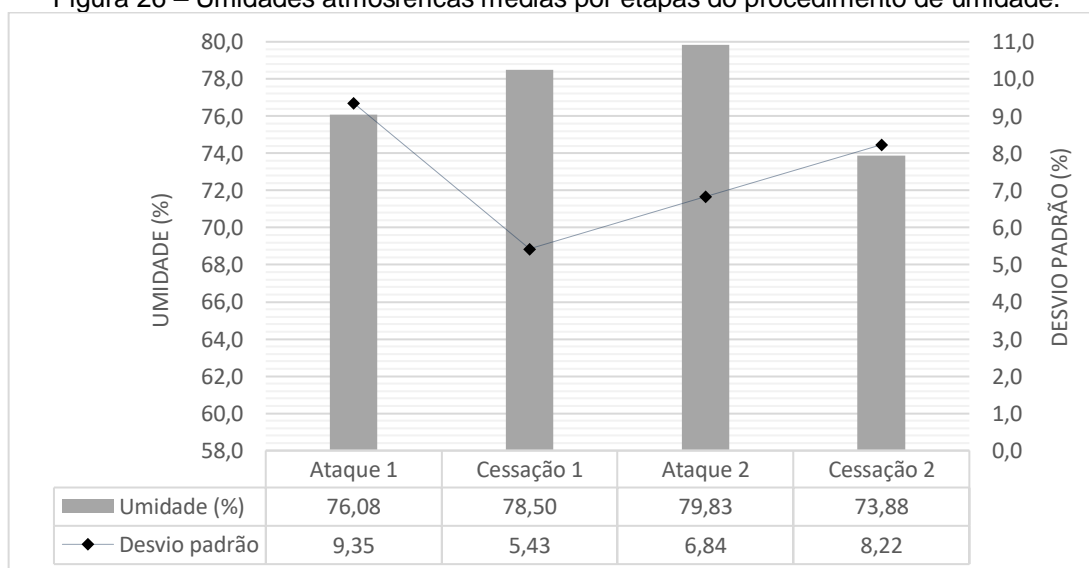
Como o local do procedimento de obtenção de umidade das paredes foi feito em local sem controle de temperatura e umidade atmosférica, foi necessária a apresentação desses dados para o maior conhecimento dessas variações, afim de se determinar o quanto elas impactaram na umidade das paredes. A Figura 25 e Figura 26 mostram as temperaturas e umidades médias por etapas do procedimento de umidade e seus respectivos desvios padrões.

Figura 25 – Temperaturas médias por etapas do procedimento de umidade.



Fonte: Do Autor (2018).

Figura 26 – Umidades atmosféricas médias por etapas do procedimento de umidade.



Fonte: Do Autor (2018).

A diferença entre o dia mais frio e o mais quente durante todo o experimento foi de 10,13 °C, e a Figura 25 mostra que houve 3,88 °C de variação de temperatura média durante todo o experimento.

O desvios padrões de temperatura na cessação 1, Ataque 2 e Cessação 2 apresentam-se aceitáveis, visto que o maior desvio padrão entre eles foi de 1,2 °C, e os demais apresentaram valores menores que 0,7 °C. Sugerindo que a temperatura ambiente média nessas três etapas, apesar de não serem controladas, se comportaram de forma quase constante.

O desvio padrão de temperatura no Ataque 1 é alto, e exige uma análise mais profunda sobre os impactos que a temperatura teve na umidade das paredes, o que é apresentada no Item 4.6.

A diferença entre o dia mais e menos úmido foi de 30,96%, e a Figura 26 mostra que houve 5,95% de variação de umidade atmosférica média durante todo o experimento. Os desvios padrões das umidades atmosféricas apresentaram-se altos, em comparação a um ambiente com umidade do ar controlada. Dessa forma, é necessário identificar se de fato essa variação impactou na umidade das paredes. Essas análises são apresentadas no Item 4.6.

4.6 Umidade das paredes e análises de temperatura e umidade atmosférica

Os pesos secos das paredes foram obtidos após a secagem em estufa a 100 °C durante três dias, e estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Pesos secos das paredes.

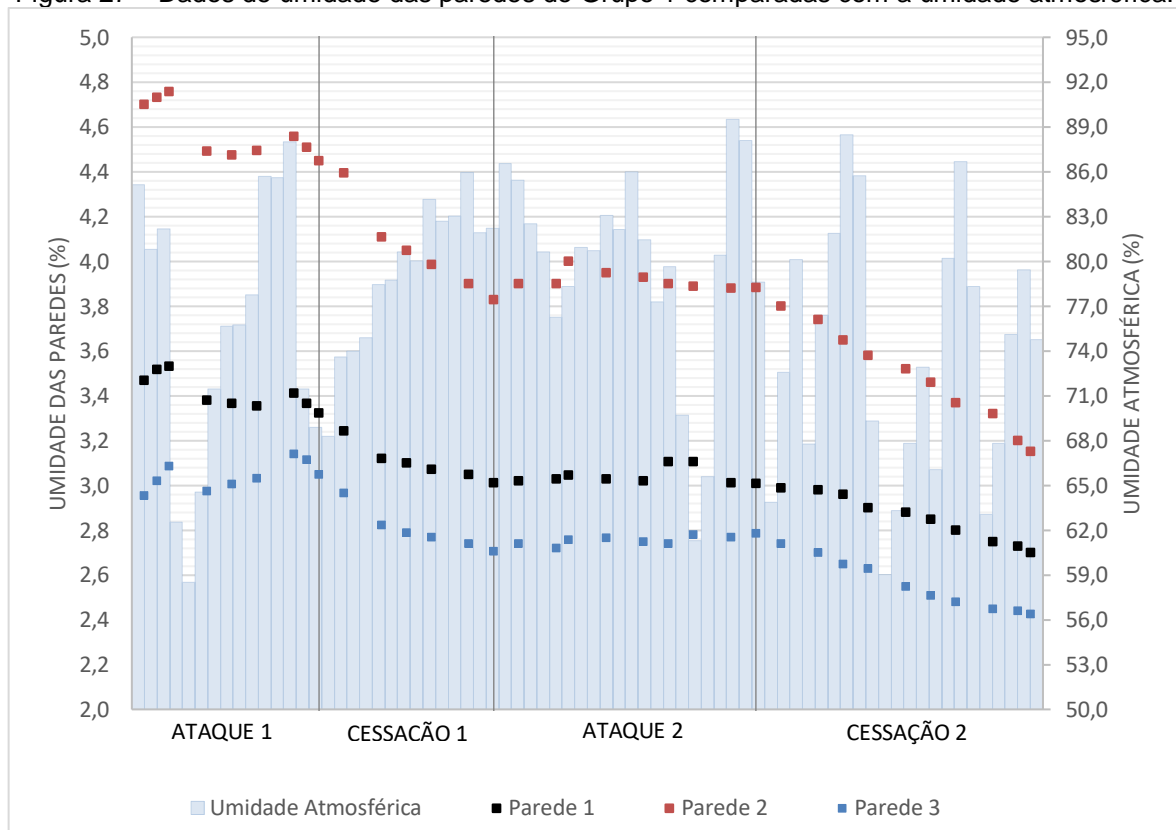
Pesos secos (g)		
Grupo 1 (100% cal)	1	25347,9
	2	24924,0
	3	25526,4
Grupo 2 (50% cal 50% metacaulinita)	4	25699,3
	5	25304,4
	6	25737,7
Grupo 3 (100% metacaulinita)	7	25584,3
	8	25438,9
	9	25317,8

Constata-se pelo Quadro 5 que o processo de execução das paredes foi bem controlado, pois as paredes possuem pesos semelhantes, apresentando variação máxima de 813,7g.

Os dados de peso úmido das paredes foram utilizados junto com os valores de peso seco para a determinação da umidade de cada parede, pela relação da variação de peso, dividido pelo peso seco.

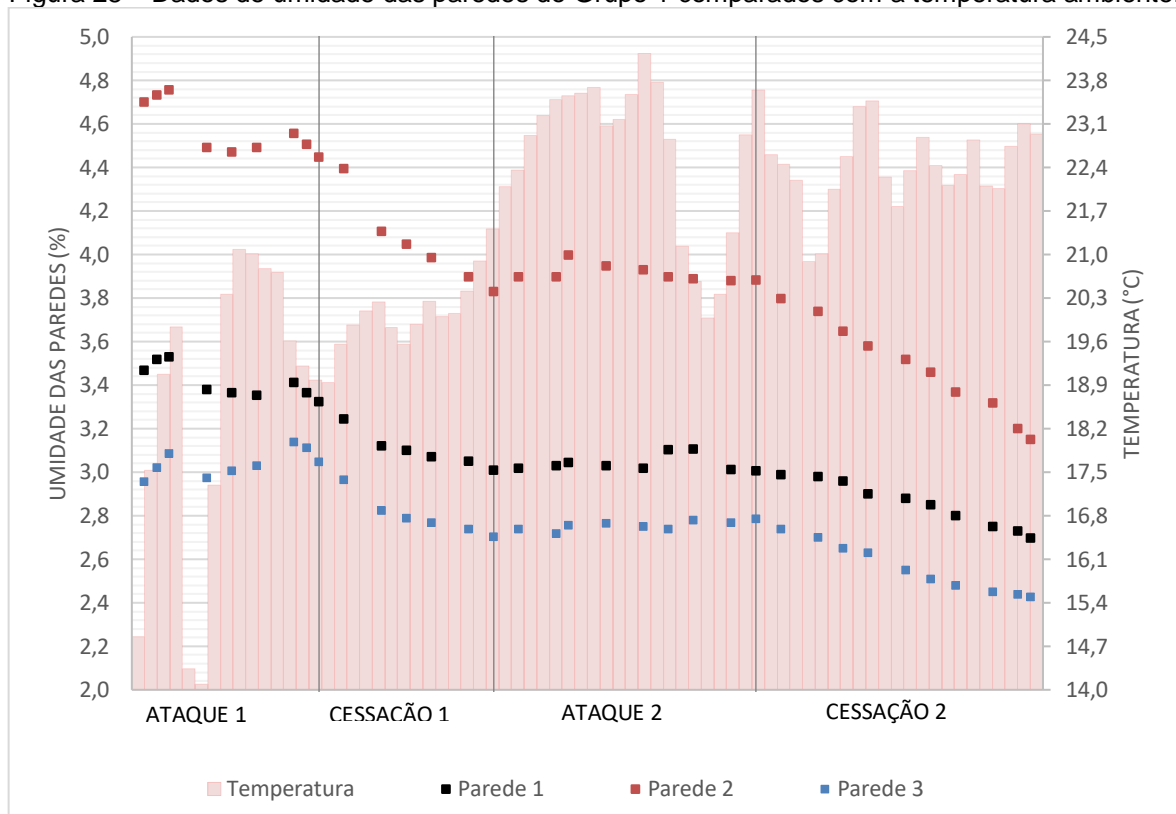
Os valores de umidade das paredes estão representados pelas Figuras 27 a 32, que mostram os dados de umidade das paredes juntamente com os dados de umidade atmosférica e temperatura ambiente por dia e por grupos de paredes durante todo o experimento.

Figura 27 – Dados de umidade das paredes do Grupo 1 comparadas com a umidade atmosférica.



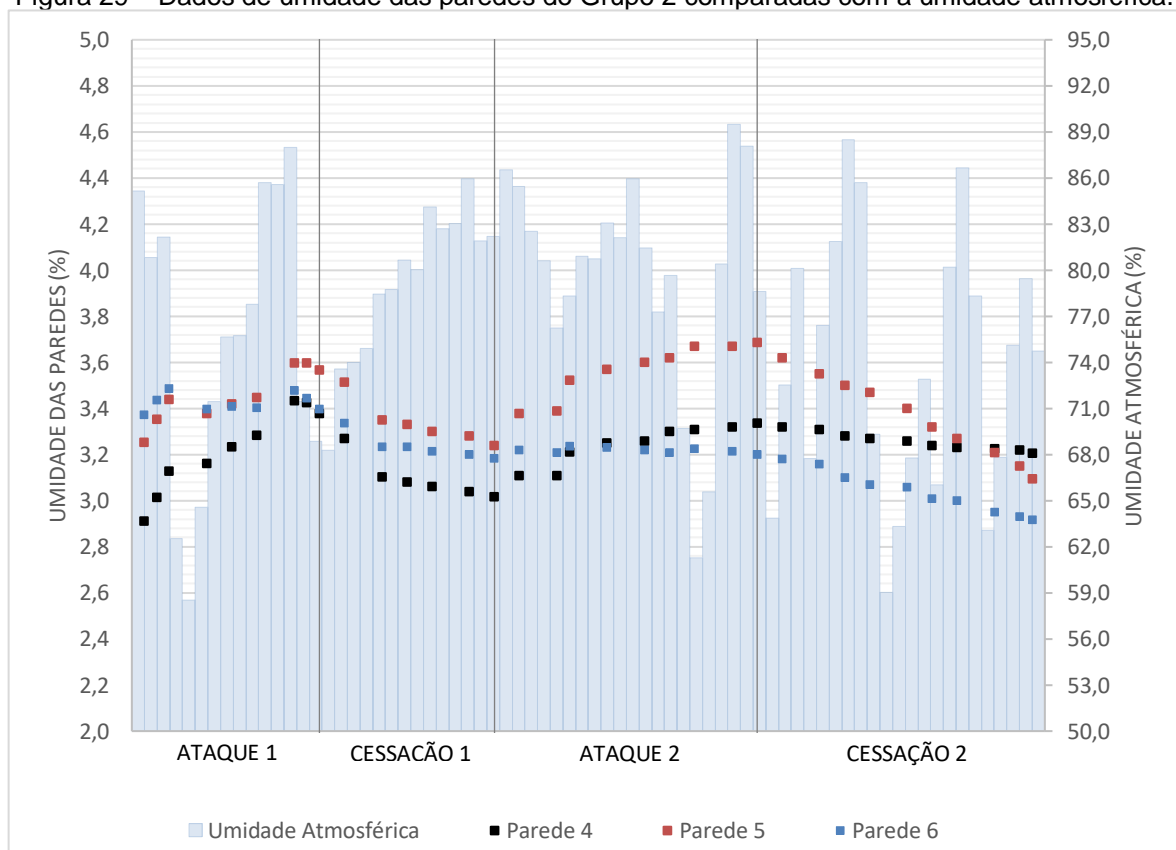
Fonte: Do Autor (2018).

Figura 28 – Dados de umidade das paredes do Grupo 1 comparados com a temperatura ambiente.



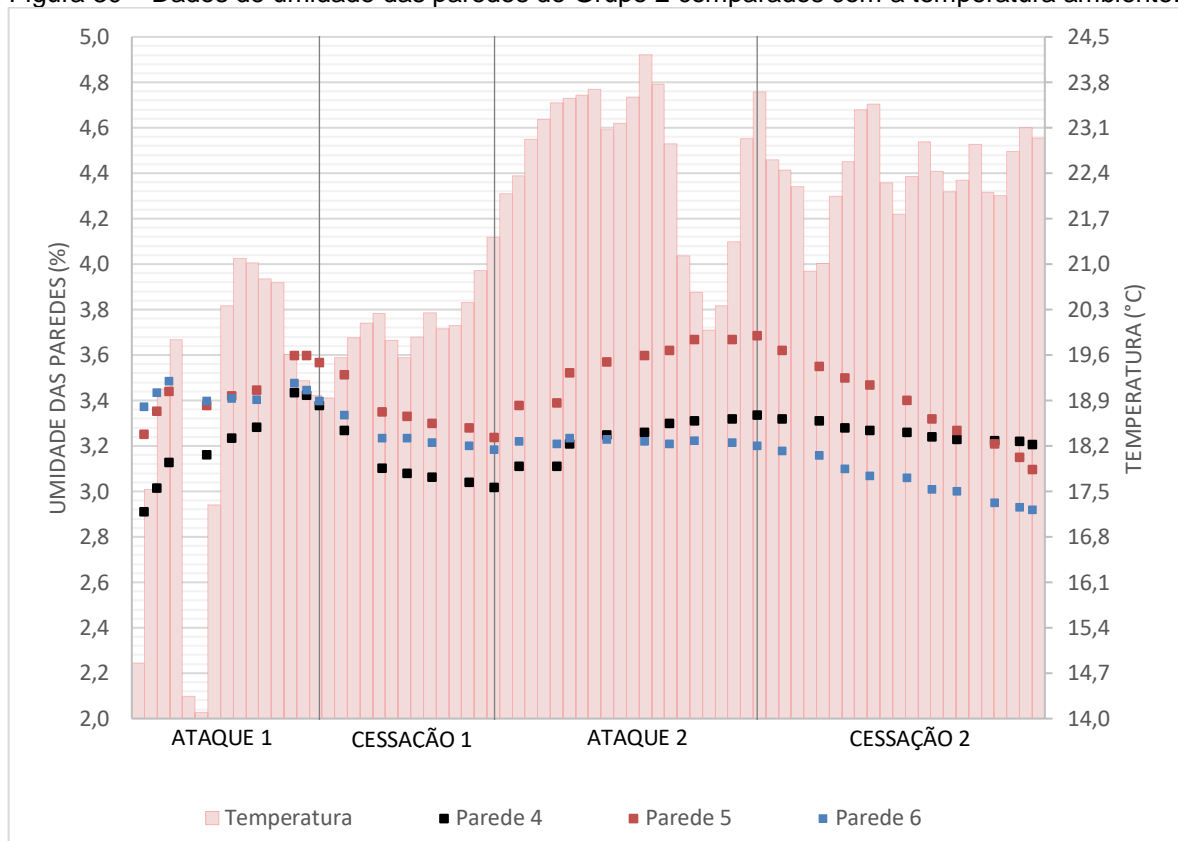
Fonte: Do Autor (2018).

Figura 29 – Dados de umidade das paredes do Grupo 2 comparadas com a umidade atmosférica.



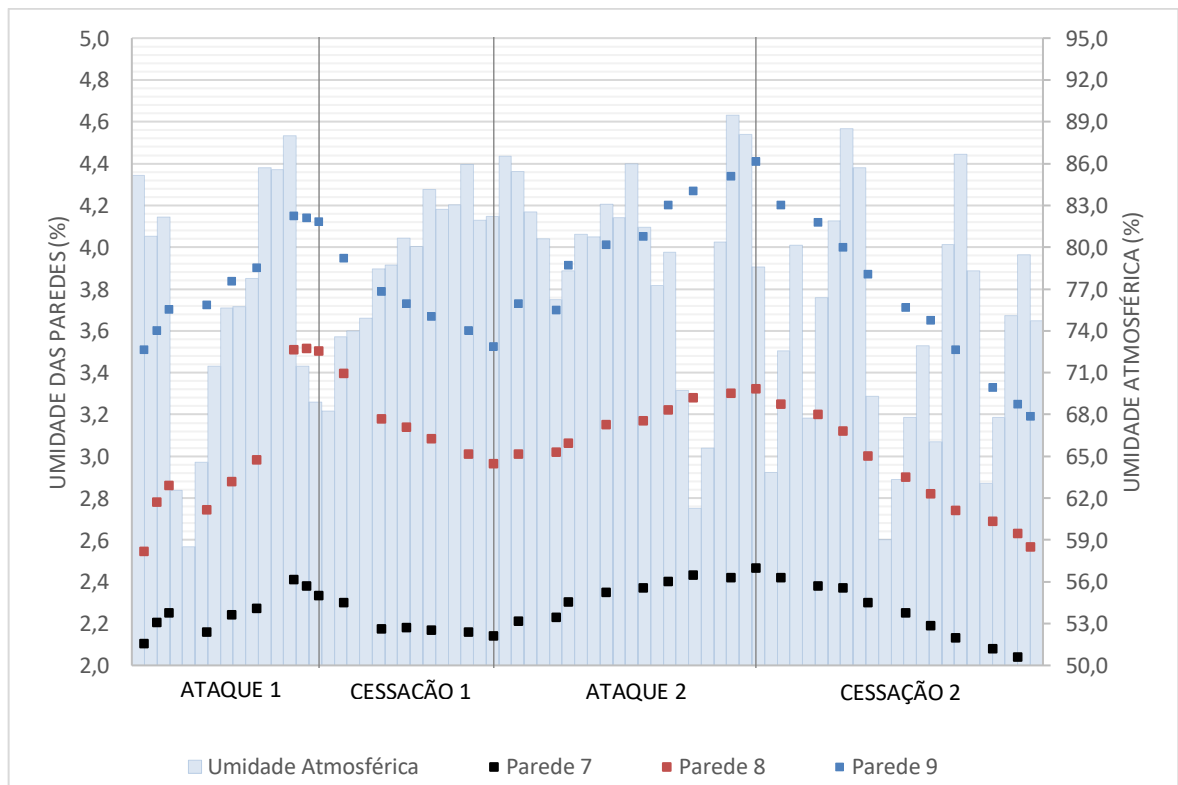
Fonte: Do Autor (2018).

Figura 30 – Dados de umidade das paredes do Grupo 2 comparados com a temperatura ambiente.



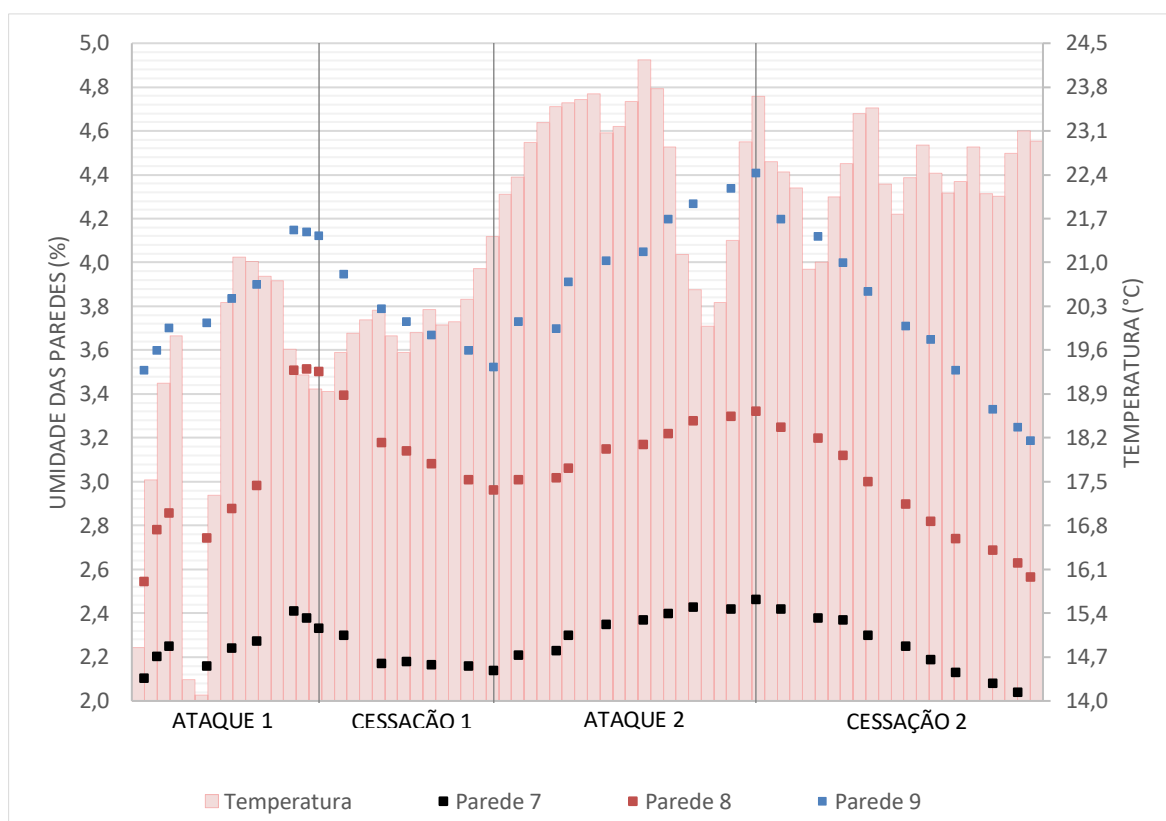
Fonte: Do Autor (2018).

Figura 31 – Dados de umidade das paredes do Grupo 3 comparadas com a umidade atmosférica.



Fonte: Do Autor (2018).

Figura 32 – Dados de umidade das paredes do Grupo 3 comparadas com a temperatura ambiente.



Fonte: Do Autor (2018).

Analisando as Figuras 27 a 32 durante o Ataque 1, percebe-se que houve uma grande variação de temperatura e umidade, que resultaram numa quebra de tendência linear de absorção de umidade, afetando de forma a diminuir a absorção de água de todas as paredes durante aproximadamente uma semana.

No Início da Cessação 2 observa-se que houve uma baixa de temperatura e umidade, em comparação ao decorrer dessa etapa de umidade. Isso fez com que os dois primeiros valores de umidade da Cessação 2 se apresentassem com maior variação de umidade do que os outros na sequência. Essa tendência pôde ser observada em todas as paredes.

Percebe-se que houveram grandes picos de umidade atmosférica e temperatura no Ataque 2 e na Cessação 2, com variações de umidade do ar de até 30% e temperatura de até 4°C. Porém, esses picos não foram acompanhados por grandes variações de umidade das paredes. Sugerindo que essas variações não tiveram grande impacto nas umidades durante o Ataque 2 e a Cessação 2, em todos os grupos de paredes.

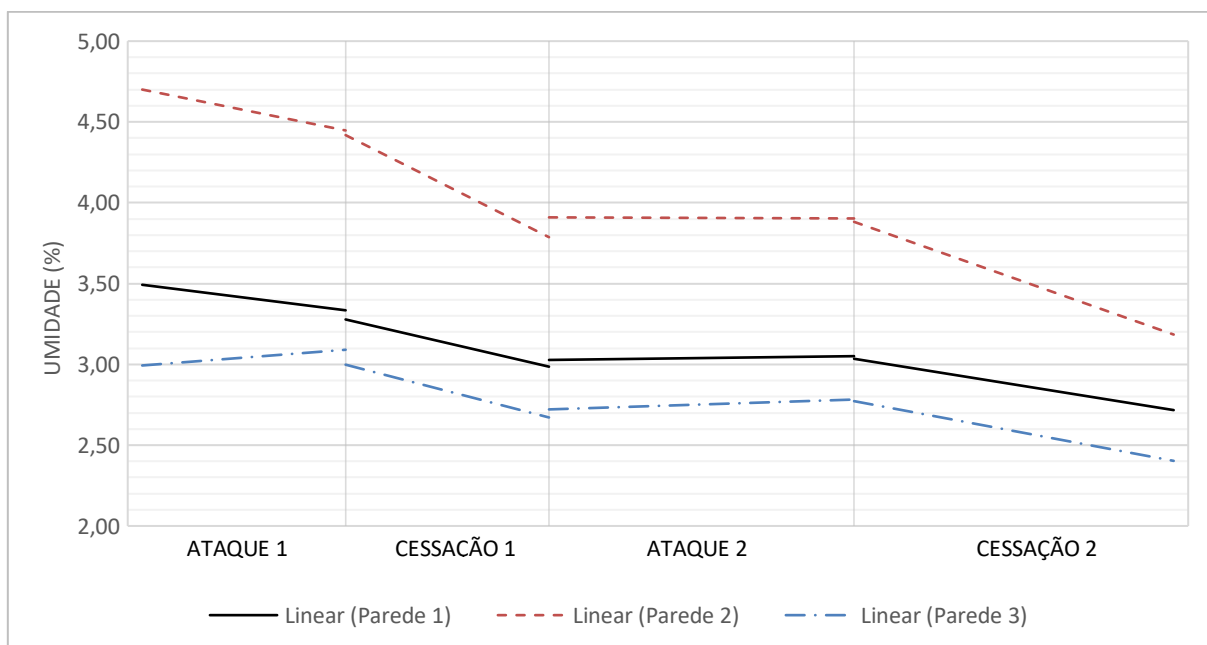
Com essas observações, e pela análise das Figuras 27 a 32, percebe-se que as condições de temperatura e umidade atmosférica do Ataque 2 e da Cessação 2 foram mais constantes, bem como a variação de umidade das paredes, em comparação ao Ataque 1 e Cessação 1.

Também se constata que os grupos de paredes, que possuem concentrações diferentes de metacaulinita na argamassa de revestimento vertical, se comportaram de forma que todas variações de umidade das paredes se alteraram proporcionalmente às variações de temperatura e umidade, tornando mais confiável a avaliação das taxas de absorção médias, apresentadas no item 4.7.

4.7 Curvas de tendência de umidade

Com os dados apresentados no Item 4.6, foi possível traçar curvas de tendência de umidade de cada parede, e de cada grupo, durante cada etapa de umidade. As Figuras 33 a 35 apresentam as curvas de tendência lineares de todas as paredes.

Figura 33 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 1.



Fonte: Do Autor (2018).

As linhas de tendência do Grupo 1, apresentadas pela Figura 33, mostram que as paredes desse grupo, em geral, apenas perderam umidade. Esse

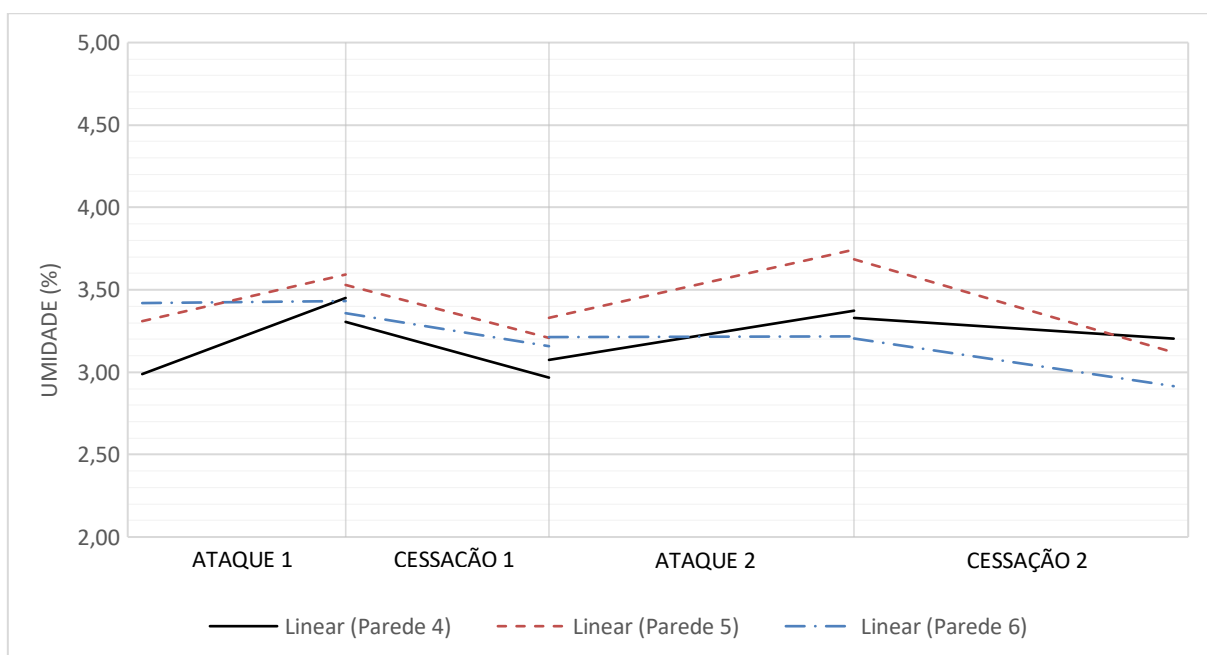
comportamento se deve ao fato dessas paredes possuírem uma baixa absorção de água comparado aos outros grupos de paredes, comprovado pelo ensaio do cachimbo apresentado no item 4.4.

Durante os dois ataques de umidade não houveram ganhos significantes de umidade, devido à baixa permeabilidade. Observa-se também que durante o Ataque 1 as paredes 1 e 2 perderam umidade, sugerindo que a taxa de perda de água superou a taxa de absorção de água, mesmo durante o processo de infiltração de água.

A perda de umidade da parede 2 é maior nos períodos de cessação em comparação às paredes 1 e 3. Também se percebe que a parede 3, durante o Ataque 1, foi a única que ganhou umidade. Essas duas observações podem ser explicadas pelas umidades iniciais das paredes, pois a parede 2 possui umidade inicial de 4,7% e a parede 3 de 3,0%. Ou seja, quanto maior a umidade, menores são as taxas de absorção de água em um mesmo grupo de paredes, pois os poros apresentam-se mais saturados.

Assim, constata-se que a grande diferença de umidades iniciais interfere na avaliação das taxas de absorção de água. Sendo mais confiáveis as taxas de absorção de água no Ataque 2 e Cessação 2, onde as paredes, a temperatura e a umidade atmosférica estão mais estáveis, como disposto no item 4.6.

Figura 34 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 2.

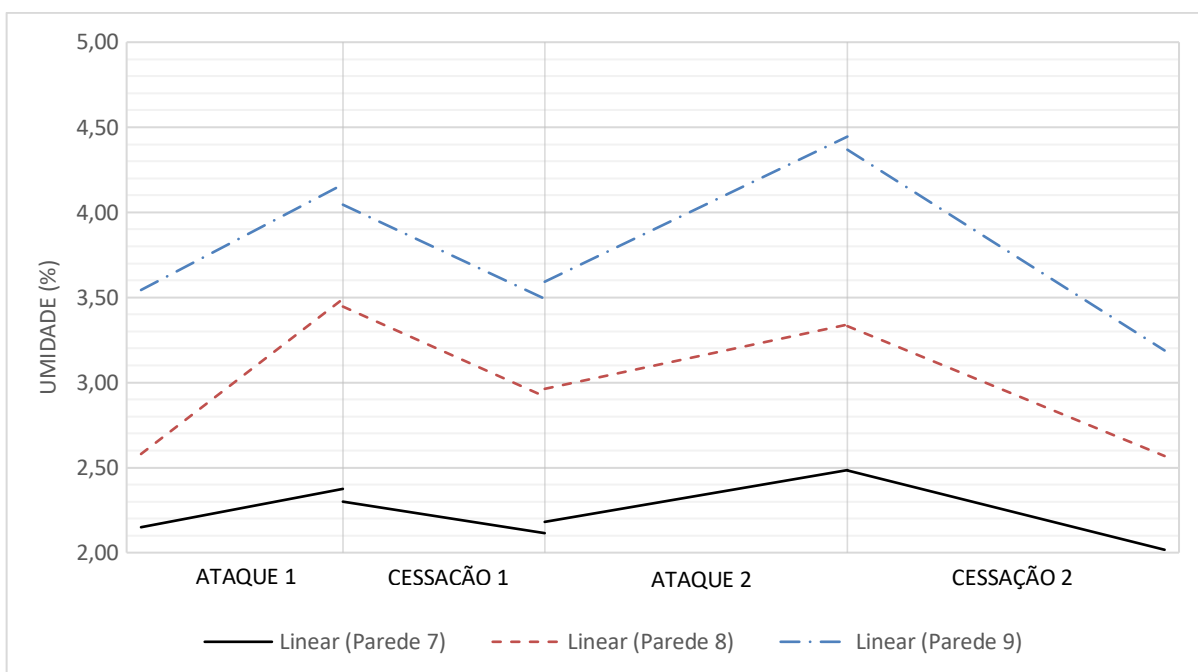


Fonte: Do Autor (2018).

As linhas de tendência do Grupo 2, apresentadas pela Figura 34, possuem umidades iniciais mais próximas do que as dos Grupos 1 e 3. Elas obtiveram saldo positivo de umidade nos ataques, e negativo nas cessações.

A parede 6, que possui a maior umidade inicial do Grupo 2, permaneceu com umidade praticamente constante nos Ataques 1 e 2, onde sua taxa de perda de água quase se iguala à taxa de absorção de água. Esse fenômeno ocorreu também nas paredes do Grupo 1, quando se constatou que a umidade inicial interfere nas taxas de absorção durante as etapas do sistema de umidade.

Figura 35 – Curvas de tendência lineares das paredes do Grupo 3.



Fonte: Do Autor (2018).

As linhas de tendência do Grupo 3, apresentadas pela Figura 35, possuem variação de umidades iniciais tão grandes quanto às do Grupo 1, mas elas tem valores menores.

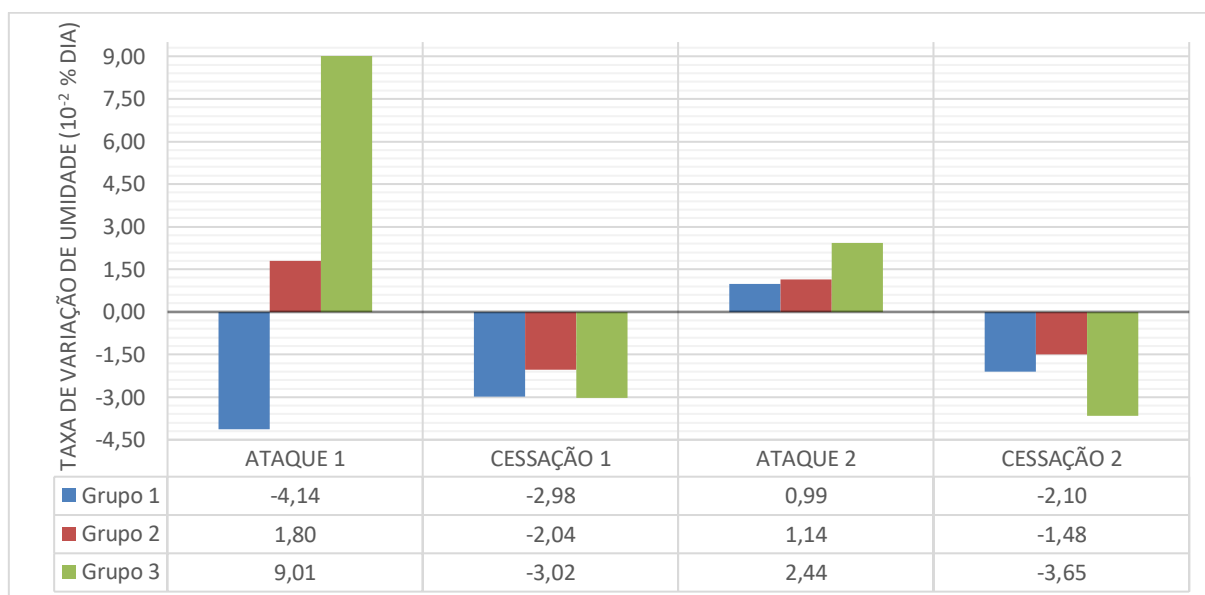
É visível também, que as variações de umidade durante as etapas do sistema de umidade são muito mais visíveis que nos Grupos 1 e 2. Pois tanto a taxa de absorção de água, quanto a de perda de água, são muito altas durante os ataques e cessações de umidade.

Com isso, percebe-se que a substituição de cal por metacaulinita, na argamassa de revestimento vertical, entre 50% e 100%, tem maior influência do que a substituição entre 0% e 50%, no que tange a capacidade de controle de umidade.

Durante a Cessação 1 de todas as paredes, é muito evidente que as linhas de tendência não se conectam com as linhas de tendência do Ataque 1 e Ataque 2. Isso ocorreu devido aos picos de temperatura e umidade, descritos no item 4.6, nesse intervalo de tempo.

Entre as paredes de cada grupo, nota-se que as inclinações das retas de tendência são semelhantes, com exceção do que ocorre no Ataque 1, onde as paredes ainda estavam se estabilizando com o ambiente novo do laboratório. Dessa forma, se torna viável a comparação das taxas de variações de umidade das paredes, e dos grupos de paredes, representados pela Figura 36.

Figura 36 – Taxas de variação de umidade médias por grupo de paredes.



Fonte: Do Autor (2018).

A Figura 36 demonstra que houve estabilização das paredes conforme o tempo, pois as taxas de variações de umidades se tornaram menores. Ainda, percebe-se que as taxas de variação de umidade do Grupo 3 são superiores tanto em obtenção de umidade, quanto em perda, o que resulta numa maior absorção e perda totais de umidade.

Apesar do Grupo 2 também possuir metacaulinita, a Figura 36 mostra que a diferença das taxas de variação de umidade entre ele e o Grupo 1 não foram tão

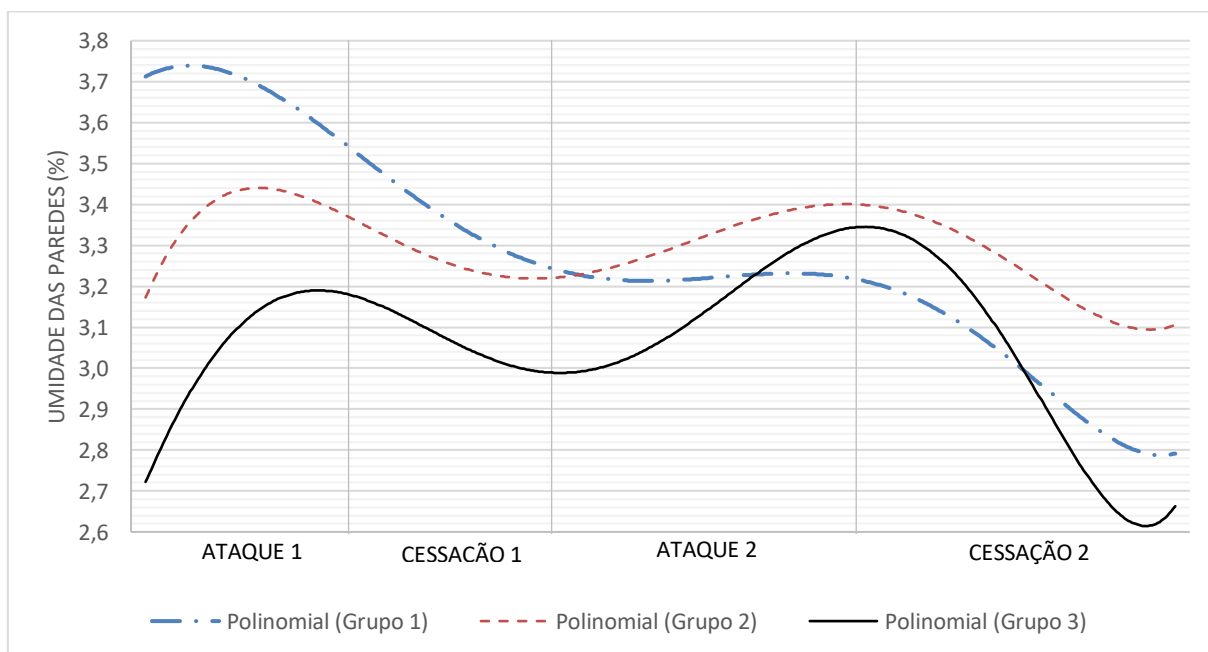
significantes. A diferença da absorção foi alta no Ataque 1, porém o mesmo não ocorreu no Ataque 2, onde as paredes se apresentavam mais estabilizadas.

Ainda, as paredes do Grupo 1 apresentaram taxa de perda de água superior às do Grupo 2, porém, essa diferença diminuiu muito da Cessação 1 para a Cessação 2. Isso é mais um reflexo da alta umidade inicial das paredes do Grupo 1, que tenderam a perder água mais rapidamente devido à alta umidade inicial.

Assim, é possível afirmar que se o experimento continuasse por mais algumas semanas, a taxa de absorção de água das paredes do Grupo 2 provavelmente ultrapassaria das do Grupo 1, pois o Grupo 3 provou que a metacaulinita foi responsável pelo aumento de absorção. E além disso, o ensaio do cachimbo, apresentado pelo item 4.4, mostrou que as paredes do Grupo 2 possuem maior absorção de água do que as do Grupo 1.

Para uma melhor visualização do que ocorre com a umidade das paredes conforme o tempo, A Figura 37 mostra as curvas de tendência polinomial das médias de umidade por grupos.

Figura 37 – Curvas de tendência de umidade dos grupos de paredes.



Fonte: Do Autor (2018).

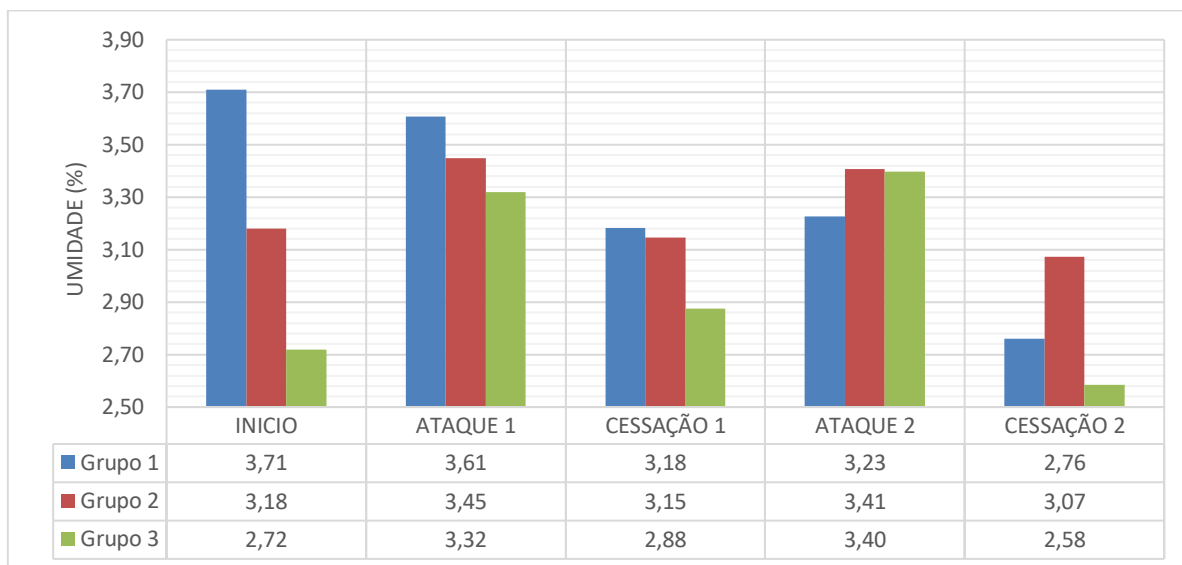
O gráfico apresentado pela Figura 37 mostra que as paredes do Grupo 2 e 3 se comportaram de forma a deixar a água entrar e sair da argamassa, enquanto no Grupo 1 a taxa de perda de água destacou-se em todo o experimento.

4.8 Ganhos e perdas totais de umidade por grupo de parede

Por fim, é pertinente avaliar as umidades médias e suas respectivas variações, além do saldo total de absorção de secagem por grupos de paredes durante todo o experimento.

A Figura 38 apresenta as umidades por grupos de parede ao final de ciclos.

Figura 38 – Umidades médias por grupos de paredes ao final de cada etapa do sistema de umidade.

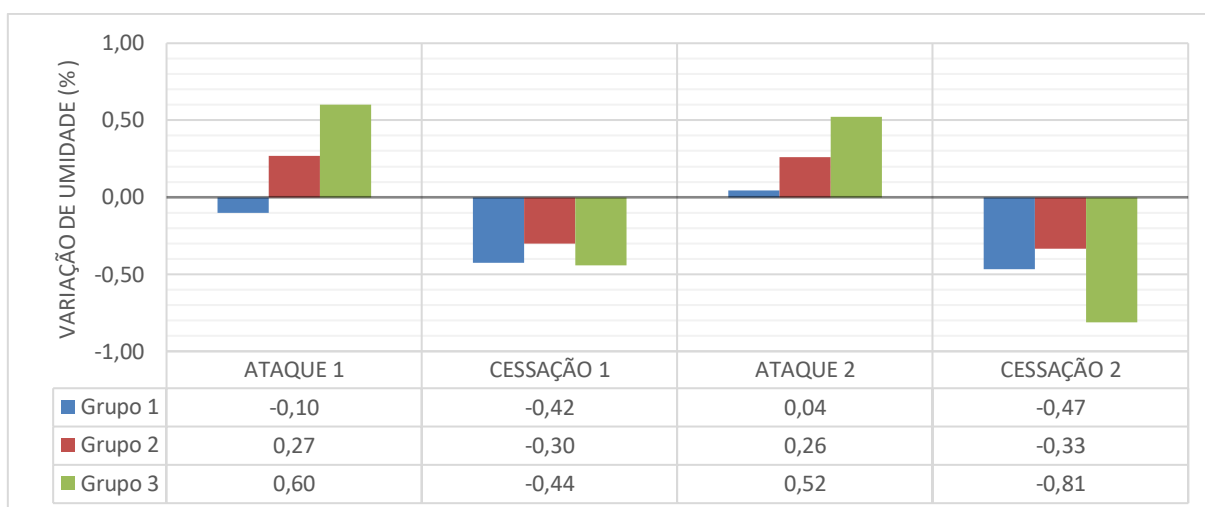


Fonte: Do Autor (2018).

Como já observado no item 4.7, as médias de umidades por grupos continuam seguindo a mesma tendência dos pontos de umidade, onde o Grupo 3 ganha e perde muita umidade, e o Grupo 1 praticamente apenas perde.

A variação das umidades da Figura 38 mostram com mais precisão a quantidade de umidade que cada grupo de paredes ganhou ou perdeu de acordo com as etapas do sistema de umidade, e estão identificadas na Figura 39.

Figura 39 – Ganhos e perdas de umidade por grupo de paredes.

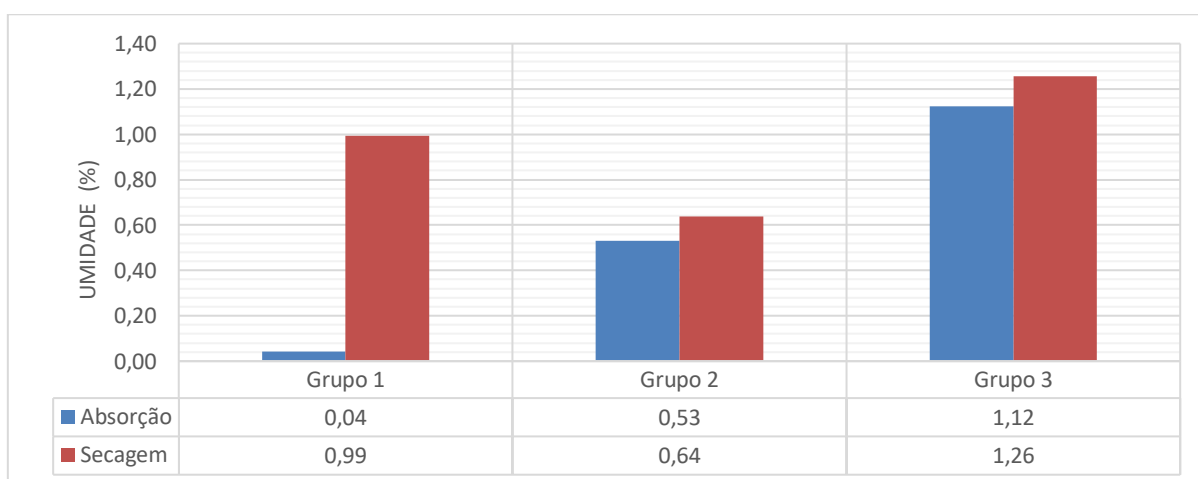


Fonte: Do Autor (2018).

É importante salientar que o Ataque 2 e a Cessação 2 possuem tempo de duração de 1 semana a mais cada, comparados ao Ataque 1 e Cessação 1. Portanto o aumento da perda de umidade que ocorre no Grupo 3 na Cessação 2 em comparação com a Cessação 1, ocorre devido a uma semana a mais de secagem.

A Figura 40 destaca os saldos totais médios de absorção e secagem por grupos de paredes.

Figura 40 – Valores de absorção e secagem totais por grupo de paredes.



Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados da Figura 40, e todas as outras observações feitas durante as discussões até então, mostram que as paredes dos Grupos 2 e 3 foram eficientes no proposto pela pesquisa, que seria a facilidade da passagem de umidade do foco de

infiltração de água, para o ar. Além disso, os resultados promovem uma reflexão sobre a situação das paredes a longo prazo, bem como dos prováveis usos da argamassa de revestimento com metacaulinita, que são discutidos no item 4.9.

4.9 Considerações sobre o uso da metacaulinita na argamassa

As paredes do Grupo 1 absorveram água lentamente, devido à baixa permeabilidade, e secaram rapidamente, pois possuíam altas umidades iniciais. Uma tendência provável das paredes do Grupo 1, já comentada pelo item 4.7, seria o equilíbrio das suas umidades com a do ambiente aliado com a diminuição de sua capacidade de secar-se. Essas paredes, sobre uma infiltração de água, absorveriam a água lentamente e a reteriam, o que aumentaria as chances de ocorrência de patologias relacionadas ao excesso de umidade. Que é o que ocorre em paredes com revestimento comum, e é o que as paredes do Grupo 1 representam.

Em contraste, as paredes do Grupo 3 já estavam mais secas quando chegaram ao laboratório para o início das simulações de umidade, pois secavam mais rápido com a ação do vento. Durante o experimento, elas absorviam e liberavam água rapidamente, e a diferença entre secagem e a absorção foi positiva. Ou seja, o Grupo 3 absorveu e liberou mais água do que os outros grupos, e ao final das simulações de umidade acabou com umidade menor do que a inicial, além de ter apresentado a menor umidade final entre os grupos de paredes. Isso sugere que sua umidade de equilíbrio com o ambiente é menor do que as das paredes do Grupo 1, e isso, somado com todas as outras características citadas, mostram que as paredes do Grupo 3 se portam como uma alternativa preventiva de patologias relacionadas à umidade proveniente de construção. Desta forma, paredes de alvenaria com uso de metacaulinita no revestimento, possuem grande possibilidade de auxiliarem, por exemplo, no combate de aparecimento de bolhas em pinturas feitas em paredes de alvenaria novas, ou até mesmo podendo ser utilizada para diminuir os tempos de espera para aplicação de outras camadas de revestimento, que resultaria na diminuição do tempo de entrega de uma obra.

Também é interessante salientar que, como disposto no item 4.4, durante o ensaio do cachimbo as paredes do Grupo 1 mostravam manchas de umidade desde o início dos ensaios, enquanto as paredes do Grupo 3, que possuem o maior valor de

absorção de água, apresentavam manchas muito pouco nítidas durante todo o ensaio. Isso confirma que as paredes do Grupo 3 possuíam maior umidade em um mesmo intervalo de tempo, na área de infiltração de água do cachimbo, em comparação aos outros grupos de paredes, e mesmo assim elas apresentaram menos manchas de umidade, e permaneceram com aspecto seco, evidenciando que a argamassa de revestimento vertical com total substituição da cal pela metacaulinita resultou em um material com maior resistência à manchas de umidade. Essa resistência, aliada às características da metacaulinita citadas na literatura, mostram que a argamassa de revestimento vertical aplicada nas paredes do Grupo 3 se apresentou mais resistente a patologias relacionadas ao excesso de umidade em paredes de alvenaria de vedação do que a argamassa comum do Grupo 1, nos experimentos propostos pela pesquisa.

A taxa de absorção de água das paredes do Grupo 3, de acordo com o item 4.4, foi mais de duas vezes maior que a do Grupo 1, e a absorção total chegou a ser mais de 20 vezes maior (Figura 40). Apesar da absorção total do Grupo 1 ter sido prejudicada pela umidade inicial, é prudente afirmar que a absorção total do Grupo 3 é muito superior do que a do Grupo 1. Dessa forma, o Grupo 3 é mais capaz de mudar o gradiente hidráulico da obra, pois ela forma regiões de baixa umidade, que induzem um sentido de passagem de água de fora para dentro da parede (como de elementos estruturais para dentro da parede), e então a libera para o ar, o que resultaria numa diminuição da umidade global da obra e reduziria a incidência de patologias relacionadas à umidade em construções, aumentando o tempo de vida útil da obra. Essa observação promove uma nova utilização da argamassa de revestimento vertical com metacaulinita, que seria o seu uso para a melhoria da saúde global da obra, e não apenas para combater alguma patologia específica.

É importante ressaltar que o efeito de secagem das paredes dos Grupos 2 e 3 é essencial para a eficácia da passagem de água da parede, pois se não houverem períodos de seca, elas irão reter mais água do que as paredes do Grupo 1. Portanto, o uso de metacaulinita na composição da argamassa de revestimento vertical não é recomendado em locais com infiltração de água constante, que não possuam nenhum tipo de sistema que promova qualquer possibilidade de perda de umidade.

Da mesma forma, também não é recomendado o uso de materiais que prejudiquem a troca de umidade do substrato para o ambiente, como tintas muito impermeáveis, vernizes, porcelanatos, etc.

5 CONCLUSÕES

Diante do estudo proposto foi possível a realização de uma série de conclusões que contribuem para o combate de patologias relacionadas ao excesso de umidade em paredes de alvenaria de vedação, no que tange às propriedades da metacaulinita substituída pelo cal, em quantidades de 0%, 50% e 100%, na composição de argamassa de revestimento vertical, com traço de 1:1:3:1 (cimento:cal:areia:água), em volume.

Entre essas conclusões encontram-se as seguintes:

- Entre as argamassas utilizadas na pesquisa, a com total substituição de cal pela metacaulinita possui maior resistência a patologias relacionadas ao excesso de umidade em construções, seca mais rápido com a incidência de ventos e se comporta como uma melhor alternativa preventiva de patologias relacionadas à umidade proveniente da construção, quando comparada a uma argamassa comum com cal;
- As paredes com taxas de substituição entre 50% e 100% de cal por metacaulinita na composição da argamassa de revestimento vertical tem potencial para prevenir patologias relacionadas ao acúmulo de umidade em construções, promover um aumento de vida útil global dos materiais, e possui maior capacidade de passagem de água, do que uma substituição entre 0% e 50%;
- O aumento da porcentagem de cal substituída por metacaulinita na argamassa de revestimento vertical é proporcional ao aumento da absorção de água da parede de alvenaria de vedação em que está aplicada;
- A variação de umidade atmosférica e de temperatura têm influência nas taxas de absorção de umidade das paredes;
- Toda substituição de metacaulinita por cal na composição da argamassa de revestimento vertical, gera argamassas cujos valores de variação de umidade se alteram de forma semelhante, quando submetidas a variações de temperatura de 15°C a 25°C, e umidade atmosférica de 50% a 90%;

- A umidade inicial das paredes utilizadas nos ensaios laboratoriais influencia nos valores das taxas de absorção de umidade;
- Quanto maior a umidade da argamassa de revestimento vertical, a absorção de água tende a ser menor, num mesmo grupo de paredes, e o mesmo vale para o contrário;
- O uso de metacaulinita na composição da argamassa de revestimento vertical não é recomendado em locais com infiltração de água constante, que não possuam nenhum tipo de sistema que promova qualquer possibilidade de perda de umidade;
- O uso de materiais que prejudiquem a troca de umidade do substrato com o ambiente, como tintas muito impermeáveis, vernizes e porcelanatos, não são indicados quando em conjunto com a argamassa com metacaulinita;

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Abaixo serão abordadas algumas sugestões para o auxílio em trabalhos futuros, relacionados ao que foi proposto por esta pesquisa:

- Para uma melhor análise de trabalhos futuros, seria interessante que o material composto por metacaulinita fosse executado em ambiente com temperatura e umidade atmosférica controlados, bem como durante suas pesagens para o cálculo de umidade. E que a metacaulinita fosse empregada como uma adição na composição da argamassa, e não uma substituição pela cal;
- Com os resultados da pesquisa apontando que o traço de 1:1 de cimento e metacaulinita obtém valores satisfatórios no que tange ao proposto pela pesquisa, seria interessante a caracterização da argamassa utilizada, e sua aplicação em outros sistemas diferentes de paredes de alvenaria de vedação, além da utilização de outras camadas de revestimentos, como tintas e azulejos;
- A pesquisa demonstrou que a utilização da argamassa de revestimento vertical com metacaulinita apresentou resultados satisfatórios em paredes de alvenaria de vedação feitas em laboratório, mas o ideal seria fazer uma avaliação prática, diretamente em um local em que há comprovação de patologias relacionadas a umidade em construções, para então fazer a avaliação da real eficácia da argamassa;
- Fazer a caracterização da argamassa nos estados fresco e endurecido e realizar ensaios de arranchamento, com o objetivo de verificar se a argamassa utilizada atende aos critérios de consistência, trabalhabilidade, retenção de água, aderência, etc;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Sharon. **Como deter a umidade em imóveis**. 01/04/2016. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/imoveis/como-deter-a-umidade-nos-imoveis-8kd07okn1wujj4v2hcvydkjgg>>. Acessado em: 23/10/2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Artigo: Como a Normalização pode auxiliar no crescimento econômico do País**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/noticias/5439-artigo-como-a-normalizacao-pode-auxiliar-no-crescimento-economico-do-pais>>. Acessado em: 29 set. 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8214: Assentamento de azulejos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

_. **NBR 8545: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_. **NBR 15270-1: Blocos cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ANDRÉ L.. **FUNÇÃO DAS CAMADAS**. 26/08/2016. Disponível em: <<http://qualificad.com.br/funcao-das-camadas/>>. Acessado em: 12/12/2017.

Azeredo, Helio A.. **O Edifício Até Sua Cobertura**. Editora: Edgard Blucher, Reedição 2009.

BAUER, I.a. Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v 2.

BEZARD, Denis. **Metakaolin**. Disponível em: <<https://metakaolin.info/>>. Acessado em: 16/11/2018.

Bridge Browser. **Benicia – Martinez Bridge**. Disponível em: <<https://historicbridges.org/bridges/browser/?bridgebrowser=california/martinez/>>. Acessado em: 16/11/2018.

CABRERA J. G.; Lynsdale C J, **The effect of superplasticisers on the hydration of normal Portland cement**, (1996).

CAMPOS I. M. **Procedimentos e cuidados na execução de alvenaria**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=119/>>. Acessado em: 23/10/2017.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Coordenação técnica L. A. Falcão Bauer. Tradução de M. Celeste Marcondes; Carlos Wagner Fernandes dos Santos; Beatriz Cannabrava. São Paulo Pini, 1988. 522 p.

CARNEIRO, B. S.; ANGÉLICA, R. S.; SCHELLER, T.; CASTRO, E. A. S.; NEVES, R. F.. **Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará**. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, CPGG. Universidade Federal do Pará, UFPA. Pará. 2003.

CECHINEL, Bruna Moro; VIEIRA, Fábio Linemberg; MANTELLI, Priscila; TONE, Sávio. **Infiltração em Alvenaria: Estudo de caso em edifício da Grande Florianópolis**. Caderno de Publicações Acadêmicas do IFSC. 2009.

DOUGLAS A.. **Tipos de umidade**. 26/10/2011. Disponível em: <<http://dicasdeconstrucaoepintura.blogspot.com.br/2011/10/tipos-de-umidade.html>>. Acessado em: 12/12/2017.

HILÁRIO F. **História das Civilizações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1976. 491 p.

IBGE - Instituição Brasileira de Geografia e estatística. **Produto Interno Bruto**. 2016 Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/tabela_02.D.01_4.xlsx>. Acessado em: 29 set. 2017.

IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Por que Impermeabilizar?**. Disponível em: <<http://www.ibibrasil.org.br/images/publicacoes/Porque%20impermeabilizar.pdf>>. Acessado em: 23/10/2017.

INAX. **ECOCARAT**. 2012. Disponível em: <<http://ecocarat.ph/>>. Acesso em: 16 out. 2017.

AECWEB. **Impermeabilização de paredes enterradas garante vida longa às edificações**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/impermeabilizacao-de-paredes-enterradas-garante-vida-longa-as-edificacoes_9485_10_0>. Acesso em: 25 nov. 2018.

KLEIN, D. L. **Apostila do Curso de Patologia das Construções**. Porto Alegre, 1999 - 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias.

LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

OLIVARI, Giorgio. **Patologia em Edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo: Monografia, 2003.

ORSE – ORÇAMENTO DE OBRAS DE SERGIPE. **Falhas em Revestimentos**. Departamento Estadual de Habilitação e Obras Públicas. 2014. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00134.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas**. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988.

Redação Reforma Fácil. **Você tem problemas com infiltrações?**. 22/08/2011. Disponível em: <<http://reforma facil.com.br/news/voce-tem-problemas-com-infiltracoes/>>. Acessado em: 19/10/2017.

RILEM (Reunion Internationale des Laboratoires D'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions), **Water absorption under low pressure. Pipe method. Test N° II.4. Recommendations provisoires**, Paris, 1980.

SACHS, Ana. **Recuperação de estruturas de concreto armado exige planejamento e documentação dos serviços - Trincas, fissuras e manchas no concreto podem indicar problemas nas edificações que não devem ser ignorados e merecem reparo imediato**. Julho/2015. Disponível em: <http://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/>. Acessado em: 23/10/2017.

SILVA, Sebastião P.. **Balanço Mineral Brasileiro - 2001 (Caulim)**. 5º Distrito do DNPM-PA. 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015/view>. Acessado em 30/10/2017.

Surface Restoration. **EFFLORESCENCE & CARBONATE DEPOSITS- CAUSES & PREVENTION**. 10/03/2010. Disponível em: <<http://surfacerestoration.com/2015/03/10/efflorescence-carbonate-deposits-causes-prevention/>>. Acessado em: 23/10/2017.

SOUZA, Rafael G. **Estudo de pozolana autoclavada baseada em óxido de cálcio derivado da concha da ostra Crassostrea gigas**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, UFSC, Florianópolis, 2008.

THOMAZ, E.; MITIDIÉRI FILHO, Cláudio V.; CLETO, Fabiana R.; CARDOSO, Francisco F.. **CÓDIGO DE PRÁTICAS Nº 01 - ALVENARIA DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICO**. São Paulo. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. 2009.

VERÇOZA, Enio José. **Impermeabilização na Construção**. Porto Alegre: Sagra, 1983.