



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Alessandra Laís Grasel

**ANÁLISE DA EXPANSÃO POR UMIDADE EM PLACAS CERÂMICAS DE
REVESTIMENTO**

Santa Cruz do Sul
2017

Alessandra Laís Grasel

**ANÁLISE DA EXPANSÃO POR UMIDADE EM PLACAS CERÂMICAS DE
REVESTIMENTO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Marcus Daniel Friedrich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2017

Alessandra Laís Grasel

**ANÁLISE DA EXPANSÃO POR UMIDADE EM PLACAS CERÂMICAS DE
REVESTIMENTO**

Trabalho de conclusão apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da
Universidade de Santa Cruz do Sul para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Marcus Daniel Friedrich dos Santos
Professor Orientador – UNISC

Prof. Marco Antonio Pozzobom
Professor Examinador – UNISC

Prof. Cícero Pimentel Corrêa
Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul
2017

Dedico este trabalho àquelas pessoas que tornaram meu sonho possível, que nunca mediram esforços para que eu pudesse batalhar por meus objetivos: meus pais, José
Jair Grasel e Leni Fátima Danhaha Grasel.

AGRADECIMENTOS

Neste momento de conclusão de mais uma etapa na vida acadêmica, faz-se extremamente necessário agradecer a algumas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído com êxito.

Primeiramente, agradeço as pessoas que mais lutaram ao meu lado para que eu pudesse realizar este sonho, meus pais, Jair e Leni. Agradeço por todo o amor demonstrado e confiança depositada em mim, por não medirem esforços para que cada momento se tornasse único e memorável em minha vida acadêmica, e por jamais me deixarem desistir de buscar meus objetivos. Vocês com certeza são peças essenciais nessa conquista.

Agradeço também, as minhas irmãs, Érica, que apesar de ser muito jovem, sempre se mostrou muito compreensiva com minha ausência nos finais de semana, devido ao compromisso da pesquisa, e Angélica, que mesmo estando distante nunca deixou de me apoiar e me ajudar de todas as formas que pôde na realização do meu trabalho.

Agradeço grandemente ao meu orientador, Professor Marcus Daniel Friedrich dos Santos, pela paciência e boa vontade em ensinar e me auxiliar nesta pesquisa durante este ano de realização.

Agradeço aos meus amigos e colegas de bolsa dos Laboratórios de Mecânica dos Solos, Pavimentação e Estruturas da Universidade, pela companhia durante o ano de estudo e pela amizade de todos.

Agradeço de maneira muito especial, ao chefe, colega e amigo, Rafael Fernando Henn, por toda a paciência, compreensão e incentivo demonstrados ao longo da realização deste trabalho, e ao chefe e amigo Henrique Eichner, pela compreensão em meus momentos de ausência.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que fizeram parte deste projeto, mesmo de longe, contribuindo para o sucesso de meu estudo ao longo da pesquisa.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar casos de descolamento de placas cerâmicas de revestimento de pisos e paredes, causados pelo aumento excessivo da expansão por umidade. A análise parte do estudo dos processos de fabricação desses materiais, que consiste em duas vias: seca e úmida. A partir disso, foram realizados ensaios técnicos em dois laboratórios, a saber: Centro Tecnológico de Controle de Qualidade L.A. Falcão Bauer, que ensaiou lotes de peças provenientes de três obras diferentes, e Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, que ensaiou lotes de duas obras, ambos localizados em São Paulo. Destes lotes de peças ensaiadas, uma parte representou peças novas, e outra parte representou peças já utilizadas nas obras citadas. Os ensaios realizados foram de absorção de água e expansão por umidade, sendo este último por dois métodos diferentes, fervura e autoclave, cujos procedimentos são recomendados pelas normas ABNT NBR 13818/97 e ASTM C 370/1970, respectivamente. As análises estão demonstradas em forma de gráfico, para uma melhor visualização das divergências que ocorreram entre um lote e outro, de acordo com o tipo de ensaio realizado. A partir da observação e estudo dos ensaios fornecidos, é possível concluir que o processo de produção via seca tem se mostrado o maior gerador da patologia em análise, devido ao fato de o produto acabado permanecer trabalhando mesmo após assentado a superfície de aplicação, enquanto que o material produzido por via úmida tem se demonstrado muito mais estável, apresentado pouca movimentação em relação a via seca. Além disso, mostrou-se como um fator determinante para os resultados, o tempo de tratamento das peças em autoclave, fator que ocasionou resultados bastante elevados nos ensaios.

Palavras-chave: expansão por umidade, absorção de água, processo via seca e via úmida, descolamento cerâmico.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absorção de água em cerâmicas	21
Tabela 2 - Classes de Abrasão Superficial	22
Tabela 3 - Classes de Resistência ao Manchamento	23
Tabela 4 - Exatidão de pesagem da placa	62
Tabela 5 - Resultados - Centro Tecnológico Falcão Bauer	68
Tabela 6 - Resultados – Laboratório de Materiais de Construção Civil IPT	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Absorção de água - Obra A.....	70
Gráfico 2 - Absorção de água - Obra B.....	71
Gráfico 3 - Absorção de água - Obra C.....	71
Gráfico 4 - Absorção de água - Peças novas.....	72
Gráfico 5 - Absorção de água - Peças usadas.....	72
Gráfico 6 - Expansão por umidade - Obra A.....	73
Gráfico 7 - Expansão por umidade - Obra B.....	74
Gráfico 8 - Expansão por umidade - Obra C.....	74
Gráfico 9 - Expansão por umidade - Peças Novas.....	75
Gráfico 10 - Expansão por umidade - Peças Usadas.....	75
Gráfico 11 - Expansão por umidade - Obra A.....	76
Gráfico 12 - Expansão por umidade - Obra D.....	77
Gráfico 13 - Expansão por umidade - Peças Novas.....	77
Gráfico 14 - Expansão por umidade - Peças Usadas.....	78
Gráfico 15 - Comparativo entre os resultados fornecidos para a Obra A.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descolamento devido à expansão por umidade	24
Figura 2 - Moinho martelo	30
Figura 3 - Processo de produção via seca	31
Figura 4 - Moinho de bolas.....	32
Figura 5 - Processo de fabricação via úmida	33
Figura 6 - Forno Intermitente.....	37
Figura 7 - Forno Semicontínuo.....	38
Figura 8 - Forno Intermitente de Chama Invertida.....	39
Figura 9 - Forno de Mufla.....	39
Figura 10 - Forno de Túnel.....	41
Figura 11 - Argamassas Colantes ACI, ACII e ACIII	41
Figura 12 - Camadas do revestimento de argamassa.....	47
Figura 13 - Mapeamento	48
Figura 14 - Taliscamento.....	49
Figura 15 - Execução de Argamassa Colante	49
Figura 16 - Argamassa de rejuntamento à base de cimento.....	51
Figura 17 - Remoção dos excessos de argamassa de rejuntamento.....	52
Figura 18 - Argamassa de rejuntamento à base de resina epóxi	53
Figura 19 - Descolamento de placas cerâmicas.....	59
Figura 20 - Materiais para ensaio de absorção de água	61
Figura 21 - Superfície de aplicação do revestimento descolado	80
Figura 22 - Placa cerâmica descolada da superfície de aplicação.....	80

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Área e delimitação do tema	13
1.2.	Justificativa	14
1.3.	Objetivos	15
1.3.1.	Objetivo Geral.....	15
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.	História da Cerâmica.....	16
2.1.1.	A Cerâmica no Brasil.....	17
2.2.	Definição	18
2.2.1.	Propriedades das Argilas	19
2.2.1.1.	Plasticidade.....	19
2.2.1.2.	Capacidade de Retração.....	19
2.2.1.3.	Efeitos do Calor.....	20
2.2.1.4.	Porosidade	20
2.2.2.	Propriedades das Cerâmicas.....	21
2.2.2.1.	Absorção de água.....	21
2.2.2.2.	Resistência à abrasão.....	21
2.2.2.3.	Resistência ao risco	22
2.2.2.4.	Resistência ao manchamento	22
2.2.2.5.	Resistência ao ataque químico	23
2.2.2.6.	Expansão por umidade	23
2.3.	Matérias-primas	24
2.4.	Processos de fabricação	25
2.4.1.	Exploração de jazidas	25
2.4.2.	Tratamento da matéria-prima	25
2.4.2.1.	Processos naturais de tratamento	26
2.4.2.1.1.	Mistura	26
2.4.2.1.2.	Meteorização	27
2.4.2.1.3.	Amadurecimento	27
2.4.2.1.4.	Apodrecimento	27
2.4.2.1.5.	Levigação	27
2.4.3.	Moldagem	28
2.4.3.1.	Moldagem a seco	28

2.4.3.2.	Moldagem com pasta fluida	28
2.4.3.3.	Moldagem com pasta plástica	29
2.4.3.4.	Moldagem com pasta consistente	29
2.4.4.	Processo via seca.....	29
2.4.5.	Processo via úmida	32
2.4.6.	Tratamento térmico	34
2.4.6.1.	Secagem	34
2.4.6.2.	Queima	35
2.4.6.2.1.	Forno de Meda	36
2.4.6.2.2.	Forno Intermitente Comum	37
2.4.6.2.3.	Forno Semicontínuo	38
2.4.6.2.4.	Forno Intermitente de Chama Invertida	38
2.4.6.2.5.	Forno de Mufla	39
2.4.6.2.6.	Forno Combinado	39
2.4.6.2.7.	Forno de Cuba	40
2.4.6.2.8.	Forno de Túnel.....	40
2.4.7.	Acabamento.....	41
2.4.8.	Esmaltação e decoração	41
2.4.8.1.	Produtos complementares ao processo cerâmico	42
2.4.8.1.1.	Esmaltes.....	42
2.4.8.1.1.1.	Esmalte cru	42
2.4.8.1.1.2.	Esmalte de fritas	42
2.4.8.1.1.3.	Preparação do esmalte.....	43
2.4.8.1.1.4.	Aplicação do esmalte	43
2.5.	Argamassa Colante	44
2.5.1.	Camadas do revestimento	46
2.5.2.	Execução de revestimentos de argamassa	47
2.6.	Argamassa de Rejuntamento	50
2.7.	Execução de Revestimento Cerâmico	53
2.8.	Patologias em Revestimento Cerâmico.....	56
2.8.1.	Descolamento de placas cerâmicas.....	57
3.	METODOLOGIA	60
3.1.	Análise de Ensaio	60
3.1.1.	Determinação da Absorção de Água.....	60
3.1.1.1.	Procedimentos	61

3.1.1.2.	Expressão dos resultados	62
3.1.2.	Determinação da expansão por umidade.....	63
3.1.2.1.	Procedimentos	64
3.1.2.2.	Expressão dos resultados	65
3.2.	Acompanhamento em obras.....	66
3.3.	Delineamento da pesquisa.....	67
4.	RESULTADOS	68
4.1.	Ensaio.....	68
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS	70
5.1.	Ensaio de absorção de água	70
5.2.	Ensaio de expansão por umidade	72
5.2.1.	Centro Tecnológico L.A. Falcão Bauer	73
5.2.2.	Laboratório de Materiais de Construção Civil – IPT	76
5.3.	Análise de imagens	78
6.	CONCLUSÃO.....	82
7.	ANEXOS	84
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos estão entre os mais usados na atualidade, desde casas populares até grandes edificações, apresentando diversas possibilidades de aplicações, além das inúmeras opções de cores, formas e estampas. Antigamente eram instrumentos de uso restrito, devido ao seu alto custo, mas em meados do século XX a produção atingiu larga escala, tornando o material acessível até mesmo aos menos abastados.

Com o passar dos anos, o revestimento cerâmico, além de um item decorativo e de acabamento, passou a ser visto como um elemento muitas vezes indispensável na indústria da construção civil, apresentando grandes vantagens ao uso, como por exemplo, a durabilidade do material, facilidade de limpeza e qualidade no acabamento final da obra.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM, a definição de materiais cerâmicos é a de materiais constituídos por produtos químicos inorgânicos, exceto metais e suas ligas, geralmente obtidos após tratamento térmico a elevadas temperaturas.

As cerâmicas podem ser produzidas por um conjunto de matérias-primas, ou apenas de argila, material encontrado em abundância no Brasil, o que estimulou o crescimento desse mercado. Os tipos de argila mais usados na produção de cerâmica são a argila vermelha, argila branca, argila plástica e argila fundente.

O presente trabalho busca desenvolver um estudo sobre uma grave patologia que vem se desenvolvendo em revestimentos cerâmicos, principalmente em materiais produzidos por via seca, causando danos incontáveis à indústria da construção civil: o descolamento das placas cerâmicas, buscando identificar a relação do problema com uma das principais propriedades do material cerâmico, conhecida como expansão por umidade.

1.1. Área e delimitação do tema

O presente trabalho tem como principal área de estudo o acabamento cerâmico de pisos e paredes, limitando-se a avaliar as principais causas do descolamento de placas de tais acabamentos, com enfoque na expansão por umidade, analisando

entre outros aspectos, a relação desse tipo de patologia com o processo de fabricação do material.

1.2. Justificativa

Os casos de patologias em revestimento cerâmico, como o descolamento de placas de pisos e paredes, vêm se agravando fortemente nos últimos anos, tanto em obras em andamento como naquelas acabadas há algum tempo. A maioria dos casos apresenta a mesma situação: o revestimento estufa e se solta da parede, ou seja, não há arrancamento, e sim um cisalhamento entre a argamassa e a placa após um elevado processo de expansão por umidade (EPU).

Dados do Centro Cerâmico do Brasil mostram que os deslocamentos verificados nos últimos anos, ocorrem em sua maioria, em casos em que o produto é assentado diretamente sobre o concreto, em obras de padrão popular, onde o cronograma de execução é acelerado. (CENTRO CERÂMICO DO BRASIL)

Uma pesquisa realizada em 2016 pela Neoway Creactive, encomendada pelo Sinduscon-SP, identificou a patologia em 66 obras, um total de 510 mil m² de deslocamentos, sendo que em 95,2% dos casos o material descolado era produzido por via seca, processo esse que representa mais de 70% da produção nacional há cerca de 20 anos. Além disso, pesquisas encomendadas por variados fornecedores do material, apontam como forte causa para o problema, a questão da mão-de-obra, incluindo nesse contexto tanto os demais materiais utilizados quanto a qualidade do serviço executado.

Com base nesses dados, mostra-se a grande necessidade de um estudo aprofundado da patologia, analisando tanto métodos de fabricação, principalmente por via seca, que tem se mostrado a maior causa do descolamento cerâmico, bem como as propriedades finais da peça, destacando nesse ponto a expansão por umidade, considerada também responsável por grande parte dos descolamentos, que tornou-se um dos maiores problemas da indústria da construção civil, tanto em termos de desempenho quanto financeiramente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Estudar casos de descolamento cerâmico em obras nos últimos anos, a fim de entender os agentes causadores do problema.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudar os processos de fabricação de cerâmica via seca e via úmida, bem como as diversas matérias-primas empregadas na fabricação;
- Analisar as características dos materiais cerâmicos;
- Conhecer os diferentes tipos de argamassas utilizadas no processo de revestimento, observando as formas de aplicação da cerâmica em paredes e pisos;
- Analisar casos de descolamento de revestimento cerâmico;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História da Cerâmica

A indústria da cerâmica é datada como uma das mais antigas do mundo. Seu nome vem do grego “*kéramos*”, que significa “argila queimada” ou “terra queimada”. As qualidades de plasticidade, resistência e dureza das argilas queimadas foram descobertas e usadas possivelmente desde dez mil anos antes de Cristo. (BAUER, 1994)

No Período Neolítico, o homem calafetava cestas de vime com barro, até perceber que poderia dispensar o vime e valer-se apenas do barro na confecção destas. Posteriormente constatou que o calor endurecia o barro, surgindo então a cerâmica propriamente dita, sendo largamente empregada para vários fins. A cerâmica passou a ser produzida não somente como peças utilitárias, dando-se início a uma preocupação com a beleza das peças. A cerâmica serviu também, durante longo período como forma para peças de metal, possibilidade constatada pelo próprio homem neolítico, que observou que ao pisar em argila molhada, ali ficavam as marcas de seus pés, que permaneciam da mesma forma após a secagem dessa terra. (PROENÇA, 2000)

Assim surgiu também a ideia da queima da argila, a fim de que uma secagem mais forte trouxesse maior resistência ao material. Percebeu-se então, que o fogo é um fator fundamental para que a argila tenha uma consistência mais endurecida, e assim foram criados os moldes de argila. Dentro desse molde era derramado o metal derretido nos fornos, e quando o ferro fundido esfriava, a argila era quebrada, restando apenas a escultura com o formato desejado. (PROENÇA, 2000)

No Egito, a arte de cerâmica era voltada principalmente para as crenças religiosas dos povos, concretizando-se desde o início em túmulos, estatuetas e vasos deixados junto aos mortos. Já na Grécia, a cerâmica foi dedicada a beleza estética, sendo que os vasos produzidos pelos gregos são reconhecidos tanto pelo equilíbrio das formas como pela harmonia entre desenhos e cores. Os vasos de cerâmica serviam inicialmente para rituais religiosos ou como recipiente para guardar mantimentos, mas com o passar do tempo passaram a adquirir valor artístico. (PROENÇA, 2000).

Tratando-se do assunto cerâmica, a China tem sido uma referência desde o início até os dias atuais. Da mesma forma que em outras regiões, no período da

Pedra Polida os chineses também produziam peças utilitárias, algumas sem ornamentação e outras já bem decoradas, utilizando-se de pigmentos naturais. Durante a dinastia Han, o país passou por várias inovações, dentre as quais pode ser destacada a utilização do vidrado, que era um verniz a base de óxido de chumbo, que quando aplicado sobre a superfície da peça cozida, criava sobre esta uma camada brilhante, impermeável e protetora. (PROENÇA, 2000).

Após muitas tentativas, sem sucesso, de imitar a porcelana chinesa, no século XVIII, os europeus descobriram a fórmula da porcelana e passaram a produzir louça branca. Na Inglaterra, usavam-se cinzas de ossos bovinos na composição da porcelana. A partir de então, houve grande crescimento na indústria da cerâmica, trazendo a necessidade da substituição do trabalho artesanal pelo industrial, propriamente dito, com o surgimento de fornos especiais, a possibilidade de cerâmicas de dimensões exatas, moldagem a seco, etc. (BAUER, 1994).

2.1.1. A Cerâmica no Brasil

A história da cerâmica no Brasil é constituída por três períodos distintos: artesanal, industrialização e modernização.

O primeiro, que trata das cerâmicas indígenas e manufaturas da época colonial estende-se até o século XX, tendo seu início e principal foco na ilha de Marajó, onde eram produzidas peças como vasilhas, urnas funerárias, estatuetas, etc. Com a chegada dos portugueses, deu-se também a implantação de olarias nos engenhos e fazendas jesuítas, onde eram produzidos tijolos, telhas e louças de barro para uso diário com o auxílio de tornos. A introdução do uso do torno e das rodadeiras foi uma das mais importantes influências nesse período, pois permitiu a fabricação de peças com maior simetria, acabamento mais aprimorado e menor tempo de trabalho. (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA, 2017)

A fase de industrialização foi desencadeada por grandes mudanças socioeconômicas, que provocaram o crescimento das cidades após a segunda guerra. A madeira passou a ser um material escasso e caro, dando lugar aos tijolos. O desenvolvimento da arquitetura fez crescer a demanda por produtos como azulejos, ladrilhos e porcelanas, surgindo a necessidade de ampliação no sistema de produção e modernização das técnicas produtivas com equipamentos

importados. (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA, 2017)

O terceiro período da indústria cerâmica no Brasil, vivido até os dias atuais, consiste na adoção de conceitos de qualidade e produtividade. As indústrias passaram a investir em programas de qualidade para adaptar-se às exigências de mercado e às novas regras comerciais.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), em 2003 o Brasil possuía 7000 produtores de cerâmica vermelha, 200 empresas fabricantes de louça de mesa, 93 de materiais de revestimento, 43 de refratários, 12 de louça sanitária e 6 de isoladores elétricos de porcelana. O maior faturamento na época foi o de cerâmica vermelha, com 4,2 bilhões de reais, e produção superior a 25 milhões de peças, seguido do setor de materiais de revestimentos, com 3,6 bilhões de reais e 534 milhões de metros quadrados produzidos. A indústria cerâmica responde por 1% do produto interno bruto do país, cerca de 6 bilhões de dólares.

A abundância de matérias-primas naturais aliadas à disponibilidade cada vez maior da tecnologia fez com que a indústria brasileira evoluísse rapidamente, fazendo com que muitos produtos atingissem nível de qualidade mundial.

2.2. Definição

Segundo Bauer (1991), chama-se cerâmica a pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozeduras de argilas ou de misturas contendo argilas. Em alguns casos, certas etapas do processo de fabricação podem ser suprimidas, mas a matéria-prima será sempre a argila. Argilas são materiais terrosos naturais, que quando misturados com água, apresentam plasticidade. São constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas formadas por um número restrito de substâncias: os argilo-minerais.

De acordo com a ABNT, as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, que quando úmidas apresentam alta plasticidade e após secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

2.2.1. Propriedades das Argilas

As argilas utilizadas na indústria cerâmica devem apresentar algumas características essenciais e outras secundárias, sendo as primeiras determinadas pela plasticidade, capacidade de retração e efeitos sofridos sob a ação do calor; e as segundas pela fusibilidade, porosidade e cor. (SANTOS, 1989)

2.2.1.1. Plasticidade

É a propriedade da placa que se deforma quando submetida a uma força determinada, conservando indefinidamente a deformação quando tal força é anulada. Essa propriedade varia com a quantidade de água. A argila seca tem plasticidade nula; molhando-se, ela vai ganhando plasticidade até um máximo; acrescentando mais água, as lâminas se separam e a argila perde a plasticidade e se torna um líquido viscoso. (PETRUCCI, 1998).

Sabe-se que as argilas encontradas na superfície são mais plásticas que as profundas, que recebem grande pressão, pois há substâncias que aumentam ou diminuem essa plasticidade, que depende também do tamanho, formato e comportamento dos grãos e da presença de outros materiais. (BAUER, 1994).

2.2.1.2. Capacidade de Retração

Inicialmente uma porção de argila seca tem certa velocidade de evaporação de água; com o passar do tempo, essa velocidade vai diminuindo. Isso acontece porque as camadas externas quando secam, vão recebendo água por capilaridade das camadas internas, fazendo com que o conjunto se homogeneíze continuamente. Por isso as quantidades de água vinda das camadas internas são cada vez menores. (BAUER, 1994).

Com esse processo, o lugar que antes era ocupado pela água passa a ser vazio, causando a retração do conjunto. A retração da argila faz com a peça cerâmica diminua de tamanho, e quando a perda de água não é uniforme a peça se torce e deforma. Por isso é difícil de obter peças moduladas de tamanhos exatamente iguais nas medidas e perfeitamente planas. (FACULDADE DE ENGENHARIA – PUCRS, 2016).

2.2.1.3. Efeitos do Calor

Quando uma argila é aquecida entre 20 e 150°, ele perde água apenas de capilaridade e amassamento. De 150 a 600°, ela perde a água adsorvida, perdendo a plasticidade e então endurecendo, não havendo até então alterações nas características químicas, que iniciam a partir dos 600°. Na primeira fase a água de constituição da molécula de argila é expulsa. Neste ponto a molécula alterada deixa de ser argila e já apresenta um endurecimento permanente. Nesta fase há a queima de materiais orgânicos existentes. Num segundo estágio há a oxidação: os carbonetos são calcinados e se transformam em óxidos. Por fim, a partir dos 950° há a vitrificação. Aparece então a cerâmica, difícil de desagregar deformar ou quebrar. (BAUER, 1994).

2.2.1.4. Porosidade

Segundo Bauer (1994), porosidade é dada como a relação entre o volume de poros e o volume total aparente do material. Cada material tem um número constante, que depende da natureza dos constituintes, da forma, tamanho e posição relativa das partículas, e também dos processos de fabricação.

Bauer (1994) cita dois tipos de porosidade: a aparente, que considera os poros abertos que absorvem água; e a real, que leva todos os poros em consideração, tanto os abertos e os fechados. A porosidade aparente é calculada em peso e volume, na seguinte ordem:

- Pesar a amostra seca ao ar – P1;
- Pesar a amostra saturada – P2;
- Pesar a amostra submersa em água – P3.

Tem-se então a seguinte fórmula:

- Porosidade em peso = $\frac{P2-P1}{P1} \times 100\%$
- Porosidade em volume = $\frac{P2-P1}{P2-P3} \times 100\%$

A porosidade real é deduzida pela Norma DIN 1065, de acordo com a massa específica da amostra em pó, pela seguinte fórmula:

- Porosidade real = $\frac{D-d}{D} \times 100\%$

2.2.2. Propriedades das Cerâmicas

2.2.2.1. Absorção de água

A absorção de água é uma característica do corpo cerâmico e está diretamente relacionada à porosidade da peça. Os revestimentos cerâmicos apresentam uma variação de absorção de água que vai de quase zero para porcelanatos até 20% para azulejos. A NBR 13817:1997, baseada também na ISO 13006:1998, classifica os diferentes grupos de absorção de água, sendo eles os listados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Absorção de água em cerâmicas

Grupo de Absorção	Absorção de água	Classificação	Grau de absorção/resistência mecânica
Ia	0 a 0,5	Porcelanato	Baixa absorção e alta resistência
Ib	0,5 a 3,0	Grês	Baixa absorção e alta resistência
IIa	3,0 a 6,0	Semi-grês	Média absorção e média resistência
IIb	6,0 a 10,0	Semi-porosas	Média absorção e média resistência
III	Acima de 10,0	Porosas	Alta absorção e baixa resistência

FONTE: NBR 13817/1997

Existe uma relação entre a porosidade da peça cerâmica e a sua resistência mecânica, medida pela carga de ruptura (N) ou pelo módulo da resistência a flexão do material (N/mm²), onde é possível verificar que quanto maior a porosidade, menor a resistência mecânica. Isso é notado na especificação citada acima, onde percebe-se que um produto com alta resistência mecânica, ou seja, com qualidade técnica superior, necessita de um grau de absorção de água tendendo a zero. (CERÂMICA INDUSTRIAL, 2001).

2.2.2.2. Resistência à abrasão

A resistência à abrasão é a propriedade relacionada ao desgaste superficial da peça, decorrido do trânsito de pessoas e contato com objetos. A resistência à abrasão, associada a carga de ruptura e outras características do material, irá determinar a melhor aplicação para cada tipo de revestimento. Pode ser classificada em abrasão superficial, para materiais esmaltados, e profunda, para materiais não esmaltados. De acordo com a tabela D.1. da NBR 13818: 1997, tem-se a seguinte

classificação de resistência à abrasão, com os respectivos locais de uso recomendados pela CECRISA:

Tabela 2 - Classes de Abrasão Superficial

Estágio de Abrasão/ Número de ciclos para visualização	Classe de Abrasão	Local de uso recomendado pela CECRISA
100	0	Paredes
150	1	Banheiros e quartos residenciais
600	2	Dependências residenciais sem ligação com áreas externas
750, 1000	3	Todas as dependências residenciais
2100, 6000, 12000	4	Todas as dependências residenciais e ambientes comerciais de tráfego médio
>12000	5	Todas as dependências residências e ambientes residenciais de tráfego médio

FONTE: NBR 13818/1997

2.2.2.3. Resistência ao risco

A resistência ao risco é uma propriedade ainda não normatizada no Brasil. Existem valores que designam classes dessa resistência, tendo como referência a dureza do diamante de Mohs. É importante lembrar que todos os pisos riscam, em diferentes proporções. Pisos brilhantes podem ser riscados com facilidade, e por esse motivo são recomendados para revestimento de áreas internas, enquanto que os pisos rústicos, mais resistentes nesse aspecto, costumam ser designados para ambientes externos, como calçadas e entradas. (INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO – USP SÃO CARLOS)

2.2.2.4. Resistência ao manchamento

Corresponde a facilidade de limpeza da superfície da placa. Quanto mais lisa for a placa, mais fácil será de limpar. Segundo a NBR 13817:1997, a resistência ao manchamento pode ser agrupada nas seguintes classes:

Tabela 3 - Classes de Resistência ao Manchamento

Classe de resistência	Possibilidade de remoção de manchas
1	Máxima facilidade de remoção de manchas
2	Mancha removível com produto de limpeza fraco
3	Mancha removível com produto de limpeza forte
4	Mancha removível com ácido clorídrico
5	Impossibilidade de remoção da mancha

FONTE: NBR 13818/1997

2.2.2.5. Resistência ao ataque químico

Segundo a NBR 13818:1997 – Anexo H, a resistência ao ataque químico diz respeito a capacidade da superfície cerâmica em manter-se inalterada ao entrar em contato com determinadas substâncias e produtos. Os revestimentos estão sujeitos a vários tipos de ataques químicos, sendo os mais comuns os proporcionados por produtos de uso doméstico comuns, produtos de limpeza, ácidos e álcalis.

2.2.2.6. Expansão por umidade

A expansão por umidade, tratada normalmente pela sigla EPU, é definida como o aumento da placa cerâmica mediante o contato prolongado com a umidade ou com a variação acentuada de temperatura, e é uma característica ligada diretamente ao processo de fabricação da peça. A NBR 13818: 1997 recomenda um limite de EPU de 0,06 mm/m na placa. Segundo o Centro Cerâmico do Brasil, essa é a característica que melhor permite avaliar a qualidade da massa cerâmica. Quando a queima do material é feita em temperatura insuficiente, com tempo muito rápido ou moagem grosseira, a reação cerâmica é incompleta, fazendo com que o produto apresente uma expansão que pode causar gretamento ou estufamento da peça.

A determinação da expansão por umidade de uma peça cerâmica é normatizada pelo Anexo J da NBR 13818: 1997, com base na Norma ISO, prescrevendo a requeima da peça a temperatura de 550 °C durante 2 horas, e ensaio de fervura por 24 horas, seguido por requeima. Esses ensaios determinarão a expansão por umidade atual e potencial, ou seja, a EPU já ocorrida na peça e a que pode surgir futuramente. (CERÂMICA INDUSTRIAL, 05/2005).

A expansão por umidade é tida frequentemente como a maior responsável pelo descolamento das placas de revestimento, aliada ao processo de fabricação via

seca. Uma pesquisa realizada pela Neoway Criactive identificou 66 obras com casos de descolamento cerâmico, sendo que 95,2% das placas cerâmicas que apresentaram descolamento foram produzidas por via seca. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2016).

Figura 1 - Descolamento devido à expansão por umidade



FONTE: Fórum da Construção IBDA (2017)

2.3. Matérias-primas

Dentre os vários grupos cerâmicos existentes, são abordadas aqui as massas da cerâmica tradicional, de base argilosa, que inclui a cerâmica vermelha ou estrutural, a cerâmica branca e a cerâmica de revestimento. Essas massas podem ser classificadas em simples ou compostas, de acordo com as matérias-primas que forem utilizadas na fabricação. (MOTTA, 2003).

As massas simples ou naturais são aquelas formadas por uma só matéria-prima, que encerra as proporções necessárias entre os minerais, permitindo a manufatura da peça desejada. Podem ser citadas, como exemplo, as massas utilizadas na fabricação de telhas, tijolos e revestimentos por via seca, cuja formação é majoritariamente de argila, podendo conter ou não, a mistura de mais um tipo de argila ou materiais argilo-arenosos. (MOTTA, 2003).

As massas compostas ou artificiais são assim chamadas quando ocorre a mistura de diversas matérias-primas, como por exemplo, nas massas de porcelana, louça sanitária e revestimentos produzidos por via úmida. (MOTTA, 2003).

2.4. Processos de fabricação

A fabricação de produtos cerâmicos compreende várias fases, que vão desde a exploração das jazidas de argila, seguido do tratamento da matéria-prima, passando pela homogeneização, moldagem e secagem do material até a queima. (PETRUCCI, 1998)

2.4.1. Exploração de jazidas

Antes de se iniciar a exploração de uma jazida de argila, é necessário um estudo preliminar das características do material a ser explorado. Segundo Petrucci (1998), o estudo qualitativo do material deve ser feito quanto à composição, pureza e características físicas. São essas informações que dirão quais produtos poderão se originar da matéria-prima extraída, eventuais correções que devem ser feitas e o equipamento que deve ser empregado.

Alguns aspectos que devem ser verificados na argila são o teor de carbonato de cálcio, que quando muito elevado origina cerâmicas muito fendilhadas; a quantidade de impurezas na amostra, pois quando há grande concentração de matéria orgânica o produto final apresenta-se altamente poroso; o teor de cal, que quando em grande concentração, ao receber umidade pode vir a queimar, causando o estouro do reboco da parede. (BAUER, 1994)

Petrucci (1998) salienta a importância do cuidado com o escoamento das águas e a colocação de escombros, apresentando duas maneiras de escavação de jazidas:

- Escavação por sangas, na qual procura-se inverter a disposição natural dos materiais, colocando-se a argila sobre o material estéril;
- Escavação por rampas, facilitando o escoamento das águas e eliminação dos escombros.

2.4.2. Tratamento da matéria-prima

O tratamento da matéria-prima consiste na preparação para industrialização da mesma, compreendendo os seguintes processos, citados por Petrucci (1998):

- **Depuração:** consiste na eliminação de impurezas que possam vir a prejudicar o material, como grãos duros, pedaços de cal, sais solúveis, entre outros que além de interferir no tratamento mecânico posteriormente e originar uma secagem anormal, também causam reações químicas que podem diminuir a qualidade do produto final.
- **Homogeneização:** é a principal condição para a obtenção de um bom produto. A argila e o desengordurante devem se misturar o máximo possível e a quantidade de água deve ser precisa, pois esta ajuda no processo.
- **Umidificação:** para a cerâmica fina, pode-se considerar que quanto maior o teor de água na pasta, mais fácil se conseguirá uma homogeneização. Já para cerâmica de construção, a quantidade de água acrescentada na pasta tem um limite, pois toda a água juntada deverá ser eliminada depois, o que gera um aumento de custo, além de outros prejuízos derivados do alto teor de água na secagem e cozimento.

2.4.2.1. Processos naturais de tratamento

São processos que compreendem a mistura, meteorização, amadurecimento, apodrecimento e levigação da matéria-prima.

2.4.2.1.1. Mistura

Uma vez extraída, a argila deve ser misturada com outras ou com desengordurantes, tendo em vista fazer as correções necessárias para a obtenção das características essenciais. Segundo Bauer (1994), estando a argila muito pura, retrai-se e deforma-se. Por isso costuma-se misturar areia, argila já cozida e moída para baixar a porção de grãos finos. Em contrapartida, uma argila muito magra tem poucos colóides, tornando-se muito porosa e quebradiça e por fim absorvendo muita umidade. A correção dada por essa mistura de materiais na argila chama-se loteamento do barro.

2.4.2.1.2. Meteorização

Este processo consiste em submeter a argila recém extraída à ação dos agentes atmosféricos. Dispõe-se a argila em camadas, alternando-se com um desengordurante, sendo que cada conjunto deve ter espessura total de 80 cm. Com a ação das chuvas, o material é lavado e se desagrega, sendo então dissolvidos e eliminados os sais solúveis; as piritas são eliminadas por oxidação e posteriormente por dissolução, desagregando-se os maiores torrões, e melhorando assim a qualidade da argila em questão. (PETRUCCI, 1998)

2.4.2.1.3. Amadurecimento

Para a fabricação de produtos mais delicados, é requerido um maior cuidado durante o tratamento da pasta, necessitando uma distribuição de umidade o mais uniforme possível. O processo de amadurecimento consiste basicamente em deixar a argila em repouso ao abrigo de intempéries, por um período de tempo que pode variar, sendo normalmente de 24 horas na preparação da pasta para fabricação de tijolos e telhas. (PETRUCCI, 1998).

2.4.2.1.4. Apodrecimento

O apodrecimento da matéria consiste em deixar a pasta de argila em um ambiente abrigado, frio, sem circulação de ar e com pouca luz, para que a umidade permaneça constante. Tem-se por objetivo principal durante este processo aumentar a fermentação das partículas orgânicas, pois nessas circunstâncias originam-se bactérias que geram substâncias aglomerantes, aumentando a plasticidade da argila, facilitando assim os próximos passos de moldagem, e ao mesmo tempo reduzem a tendência das pastas recentes ao gretamento. (ALVES, 1978).

2.4.2.1.5. Levigação

É um processo de lavagem e purificação da matéria por decantação, empregado quando é necessário que as argilas apresentem certa pureza para fabricação de peças especiais. A argila em suspensão na água é submetida a

agitação, percorrendo um percurso através de chicanas, onde são dispostas balsas em série, para recolhimento do material de decantação mais pesado, normalmente associado a grãos maiores, areais, etc. O resultado, uma pasta muito limpa e homogênea, chamada barro colado, vai para um depósito de sedimentação. As impurezas que pairam sobre a mistura são retiradas por peneiras, e quando o objetivo é a fabricação de louça fina, a eliminação de hidratos de ferro é obtida por eletroímãs dispostos ao longo do percurso. (PETRUCCI, 1998).

2.4.3. Moldagem

É a operação de dar a forma desejada à pasta cerâmica. Está intimamente ligada ao teor de água na argila: quanto mais água na mistura, mais plástica e mais facilmente a peça será moldada. Pode ser feita a seco ou a úmido.

2.4.3.1. Moldagem a seco

A moldagem pode ser feita a seco ou semi-seco, demandando, porém uma grande pressão e conseqüentemente, grande energia. É feita por prensagem. A argila é moldada quando está quase seca, devendo ser submetida a forte potência de prensas para adquirir a forma desejada. As prensas variam de 5 a 700Mpa. Esse tipo de moldagem costuma ser usado para ladrilhos, azulejos, refratários, tijolos e telhas de melhor qualidade. Apresenta vantagens significativas, como a simplicidade nas operações, capacidade da produção em massa e menor tempo de secagem, mas em contrapartida exige um alto capital inicial e constante renovação das matrizes, sendo limitados a formatos adequados. Os produtos desse processo são de ótima qualidade, mais uniformes, sem bolhas, com superfícies lisas e impermeáveis. (PORTAL FACULDADE DE ENGENHARIA – PUCRS, 2016).

2.4.3.2. Moldagem com pasta fluida

É conhecido como processo da barbotina. Consiste na dissolução da cerâmica em água com a solução, vertida em porosos moldes de gesso. A água é então absorvida e a argila adere às paredes do molde. A peça seca se retrai e descola da

forma. Este processo é usado em porcelanas, louças sanitárias, peças para instalação elétrica ou que apresentam formato complexo. (BAUER, 1994)

2.4.3.3. Moldagem com pasta plástica

É um processo bastante simples e tido como o mais antigo de moldagem. A cerâmica em consistência bastante pastosa é moldada em moldes de madeira ou no torno de oleiro. Os processos atuais são mais modernos que os mais, porém não dão a mesma qualidade ao produto. Esse tipo de processo é utilizado na confecção de vasos, tijolos brutos, pratos, xícaras. (BAUER, 1994).

2.4.3.4. Moldagem com pasta consistente

Consiste em compactar a massa em uma extrusora, forçando-a, através de um pistão helicoidal, a passar por um bocal apropriado, obtendo-se uma coluna extrudada, com seção transversal de formato e dimensões desejadas. Em seguida a coluna é cortada, geralmente por uma guilhotina formada por arames presos a um esquadro de metal ou madeira. Devido a incorporação de ar ocorrida durante o processo, o qual se dilata na cozedura causando o fendilhamento e até desagregação da peça, pode ser acoplada uma câmara de vácuo, que diminuirá a porosidade. Esse processo de moldagem é bastante usual para tijolos, tijoletas, tubos cerâmicos, telhas e refratários. (PORTAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2017)

2.4.4. Processo via seca

A produção de cerâmica via seca é tida como o processo em que a placa, após moldada, deve ser deixada para secagem ao sol, naturalmente. Neste tipo de produção, trabalha-se com um ou dois tipos de argilas que são moídas a seco em moinhos martelos ou pendular, ou seja, sem adição de água, fazendo com que a etapa de secagem em atomizador torne-se desnecessária. (TÉCHNE, 09/2016)

Geralmente os produtos obtidos por via seca enquadram-se nos grupos de absorção de água B11b, podendo absorver de 7 a 8% de água na peça. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 12/2016)

Os moinhos de martelo são projetados para a moagem de materiais secos e semi-secos. A alimentação é forçada por fusos rosca sem-fim, acionados por moto redutores com variador de frequência em sincronização com o motor principal. São dotados de um sistema de calefação integrado, que admite argilas e outros materiais com umidades até 12%. (VERDÉS EQUIPAMENTOS PARA CERÂMICA)

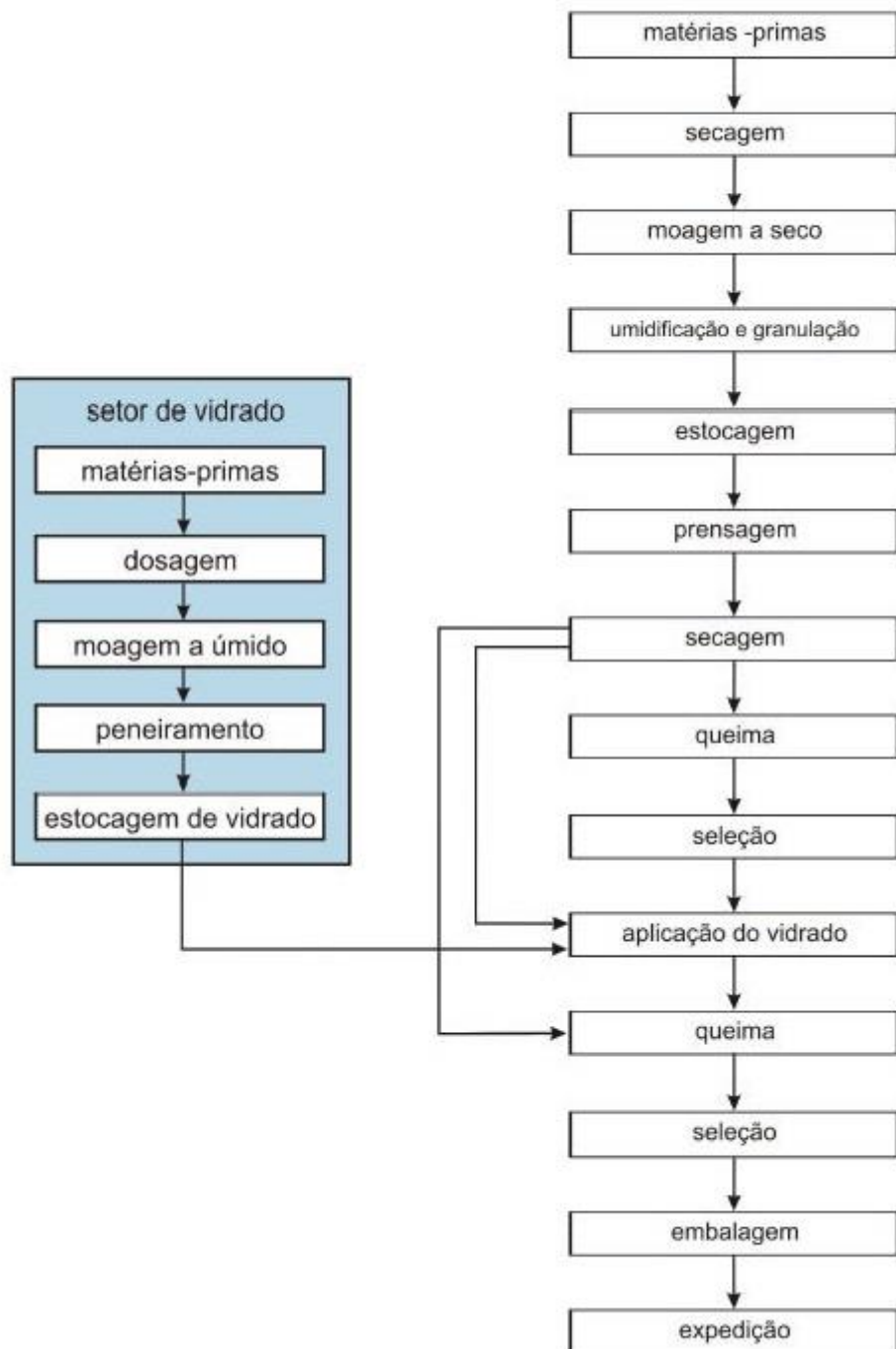
Figura 2 - Moinho martelo



FONTE: Verdés Equipamentos para Cerâmica LTDA

A seguir é apresentado um fluxograma que exemplifica a produção de cerâmica por via seca:

Figura 3 - Processo de produção via seca



FONTE: Associação Brasileira de Cerâmica

2.4.5. Processo via úmida

O processo cerâmico conhecido como via úmida tem basicamente uma etapa a mais que o processo via seca, que é a secagem em atomizador, necessária devido a adição de água na mistura durante o processo de moagem. A produção por via úmida requer matérias-primas diversas e mais sofisticadas, o que confere ao produto maior valor agregado. Esse tipo de produto é submetido a moagem à úmido em moinhos de bolas, seguida de uma suspensão formada pela matéria-prima em pó. Só então a mistura é direcionada para o processo de secagem no atomizador, processo esse que requer muita energia, encarecendo a produção. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 12/2016)

Os materiais cerâmicos produzidos por via úmida são pulverizados em vários grupos de absorção de água, entre porcelanatos, grês, semi-grês e porosas, apresentando um índice médio de absorção por volta dos 15%. (TÉCHNE, 09/2016)

Os moinhos de bolas são as máquinas utilizadas para a moagem de materiais a úmido em regime descontínuo, equipados com uma boca para carga e uma para descarga. O grupo de acionamento é formado por um motor elétrico ligado a um redutor de velocidade através de acoplamento hidráulico. Possui um freio a disco instalado no eixo de alta rotação, e a transmissão final ocorre através de correias em V, que são instaladas em polias apoiadas diretamente sobre os eixos de saída do redutor. (CARDALL EQUIPAMENTOS)

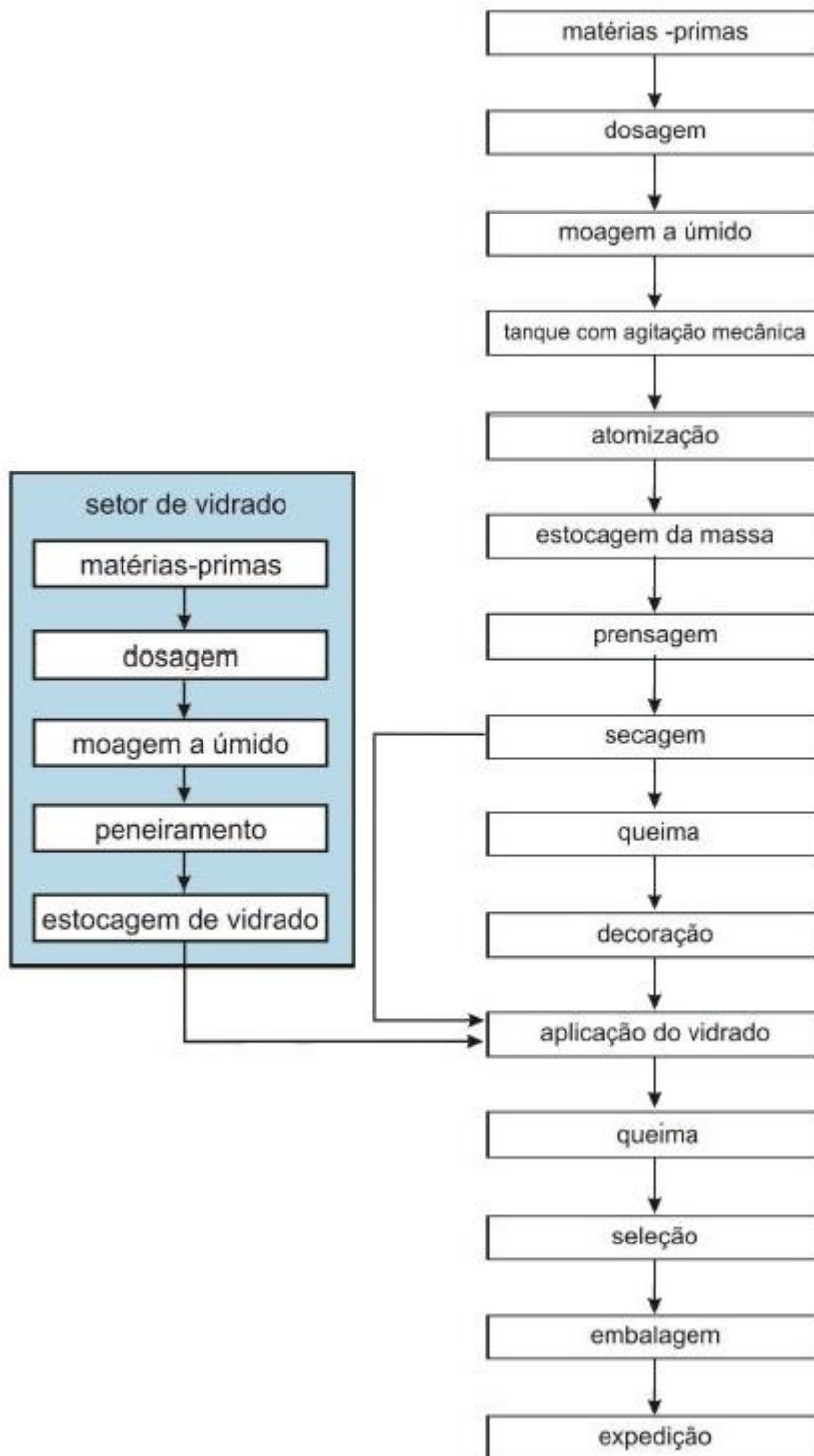
Figura 4 - Moinho de bolas



FONTE: Cardall Equipamentos LTDA

O fluxograma a seguir mostra um esquema das etapas de produção de peças cerâmicas por via úmida:

Figura 5 - Processo de fabricação via úmida



FONTE: Associação Brasileira de Cerâmica

2.4.6. Tratamento térmico

O processamento térmico é de fundamental importância na obtenção dos produtos cerâmicos, pois é durante essa etapa que se desenvolvem as propriedades finais da peça. Compreende as etapas de secagem e queima.

2.4.6.1. Secagem

O processo de secagem é tão importante na fabricação da cerâmica quanto o cozimento, pois após a moldagem o corpo ainda permanece com certa umidade, que de acordo com Bauer (1994), varia de 5 a 35% de água. Durante a secagem, a água livre evapora, e apenas uma umidade de equilíbrio permanece no material, capaz de provocar uma tensão de vapor igual a existente no ar ambiente nas condições de temperatura e grau higrométrico.

O mecanismo de secagem é a evaporação da umidade na superfície do material, seguida da difusão de umidade das zonas internas com maior concentração para as externas com menor concentração. Estes fenômenos devem realizar-se simultaneamente e com velocidade igual, até que a secagem seja interrompida ou finalizada. Se a secagem não for feita de maneira uniforme, aparecerão distorções nas peças. O processo pode levar de 3 a 6 semanas para argilas moles, ou uma semana para argilas rijas, quando for feita por processo natural (ao ar). (BAUER, 1994).

Petrucci (1998) explica que a o processo de secagem resultará em retração das peças, devido à evaporação da água que as submetem a elevadas tensões, uma vez que seu interior é incompressível quando molhado. Quando a evaporação ocorre de forma violenta, a retração torna-se excessiva, originando fendas e deformações na placa. Para evitar esses problemas oriundos da secagem, é necessário um baixo gradiente de umidade, enquanto que a velocidade de difusão deve ser o mais elevada possível, regulando a velocidade de evaporação na superfície com a velocidade de difusão da água.

Bauer (1994) aponta quatro tipos básicos de secagem: natural, de túnel, por ar quente-úmido e por radiação infravermelha.

- Secagem natural: é o processo comumente empregado em olarias, porém demorado e exige grandes superfícies. É feita em telheiros extensos, com

ventilação e abrigo do sol, podendo ser realizada em alguns casos, em depósitos quase fechados, de madeira, colocados em tornos acima do forro, do qual aproveitam o calor.

- Secagem de túnel: são túneis por onde passa o calor residual dos fornos, cerca de 40 a 150°. As peças são colocadas em vagonetas, que percorrem lentamente o túnel no sentido da menor temperatura para a maior.
- Secagem por ar quente-úmido: coloca-se a peça nos secadores, onde estas recebem ar quente com alto teor de umidade, até desaparecer toda a água absorvida. Em seguida recebe apenas ar quente para perder água da capilaridade. As deformações tornam-se mínimas.
- Secagem por radiação infravermelha: por ter um alto custo e servir apenas para peças delgadas e de precisão, é um processo pouco empregado, porém resulta em alto rendimento e pouca deformação.

É importante lembrar que durante a secagem os produtos cerâmicos devem ser empilhados de modo a oferecer a todas as faces um contato com o ar, não devendo colocar em prateleiras de materiais absorventes, pois a diferente retração das faces pode gerar distorções na peça. (ALVES, 1980).

2.4.6.2. Queima

O processo de queima ou cozimento pode ser considerado como uma das partes mais importantes de todo o processo de fabricação. Durante a queima ocorrem transformações estruturais na argila, o que causa uma marcha de aquecimento e resfriamento típica para cada produto. Se a queima é feita de forma lenta, muitos perigos do processo são afastados, porém o gasto com combustível torna-se demasiado. A queima rápida é economicamente mais interessante, entretanto pode afetar a qualidade final do produto. (SANTOS, 1989)

Bauer (1994) ressalta que o principal cuidado que se deve tomar durante o processo é de dar uniformidade ao calor do forno, para que umas peças não fiquem mais queimadas que outras, além de se obter temperaturas ideais exatas.

A partir de análises térmicas da argila é possível se obter a curva temperatura-tempo de um forno, relacionando temperatura com perda de peso e variações dimensionais. Na zona de grandes variações dimensionais para pequenas variações de temperatura, a elevação desta última se dará lentamente, dando-se de forma

rápida apenas em situações que apresentem pouca variação dimensional com mudança de temperatura. Havendo um esquema adequado de aquecimento do forno, são evitadas deformações, fissuras e rupturas de placas durante a queima. (PETRUCCI, 1998)

A queima de peças cerâmicas pode levar de três a quatro dias, passando por três estágios distintos: a desidratação, oxidação e a vitrificação. No primeiro deles, a água dos poros evapora e parte da matéria carbonosa é queimada. Esse período se completa com uma temperatura em torno de 700°C. O segundo período completa-se aos 900°C, e é quando a matéria combustível é totalmente consumida, o carvão e o enxofre são eliminados, e o óxido ferroso é oxidado passando a ser férrico. Por último tem-se a vitrificação, que não ocorre em tijolos comuns, mas a temperatura vai a 1200°C até iniciar-se o processo. Vitrificação é o nome dado a contração e fechamento dos poros da argila pela queima. (PETRUCCI, 1998)

Alves (1980) recomenda que, para cerâmicas de maior qualidade, o material seja levado duas vezes ao forno, para aquecimento e reaquecimento, que tem como principal finalidade evitar o emprego de temperaturas muito elevadas de uma só vez.

O cozimento pode ser feito em fornos contínuos ou intermitentes. Nos primeiros a produção é contínua, e nos segundos, deve ser cozido um lote de cada vez. Os fornos contínuos consistem, essencialmente, em séries de câmaras, de modo que quando uma câmara está em fogo, os gases da combustão atravessam todas as outras antes de chegar na chaminé, gerando um pré aquecimento e economia de combustível. Nos fornos intermitentes, o calor é gerado fora do forno e circula pelo interior, através das pilhas de peças até a chaminé. O material não é cozido de maneira uniforme, podendo haver a necessidade do descarte de algumas peças por falta ou excesso de queima. Esse tipo de forno pode ser de chama ascendente ou descendente. (PETRUCCI, 1998).

2.4.6.2.1. Forno de Meda

É um tipo de forno intermitente e de chama ascendente, bastante rústico e empregado apenas em instalações provisórias para fabricação de tijolos. Os tijolos são empilhados em forma de pirâmide truncado, tendo dimensões entre 8 a 10 metros de lado e 5 a 6 metros de altura. São empilhados em cutelo, deixando pequenos espaços entre si e formando colunas entre as quais se formam espaços

maiores, onde é colocado o combustível e em seguida coberto com barro e palha e o fogo é então aceso. A temperatura é controlada por meio de orifícios na cobertura, que aumentam a combustão. O cozimento de tijolos leva de 6 a 10 dias e o arrefecimento cerca de mais uma semana, sendo que cada fornada pode levar de 50 a 500 milheiros de tijolos. Geralmente perde-se um terço da produção de cada fornada, pois uma vez que não há como controlar a uniformidade e estado da combustão, há muitas peças mal cozidas ou supercozidas. (BAUER, 1994)

2.4.6.2.2. Forno Intermitente Comum

Por ser um tipo fácil e barato de construir, é um dos mais encontrados em pequenas olarias. Costuma ter formato retangular ou quadrado, com lados de 5 a 10 metros e altura de 3 a 6 metros. As fornalhas ficam na base, formadas por abóbadas em arco, com 15 centímetros de afastamento uma da outras, e sob estas fica o cinzeiro. O material é empilhado sobre a fornalha deixando espaços para a passagem do calor e do fumo. Pode ser coberto também com barro e palha ou com abóbadas de tijolos reforçados com cintas de ferro, havendo assim economia de barro e mão-de-obra, mas trazendo a necessidade de se refazer periodicamente a abóbada devido a desabamentos. Após o fogo ser aceso a porta é lacrada com uma parede de tijolos e argila. Esse tipo de forno pode cozer de 25 a 100 milheiros de tijolos de cada vez, levando em torno de 7 a 8 dias para queimar e de 4 a 6 para arrefecer. A porcentagem de desperdício desse forno é cerca de 10% (\pm), pois devido a forma retangular, os tijolos que ficam nos cantos apresentam menor cozimento. (BAUER, 1994)

Figura 6 - Forno Intermitente

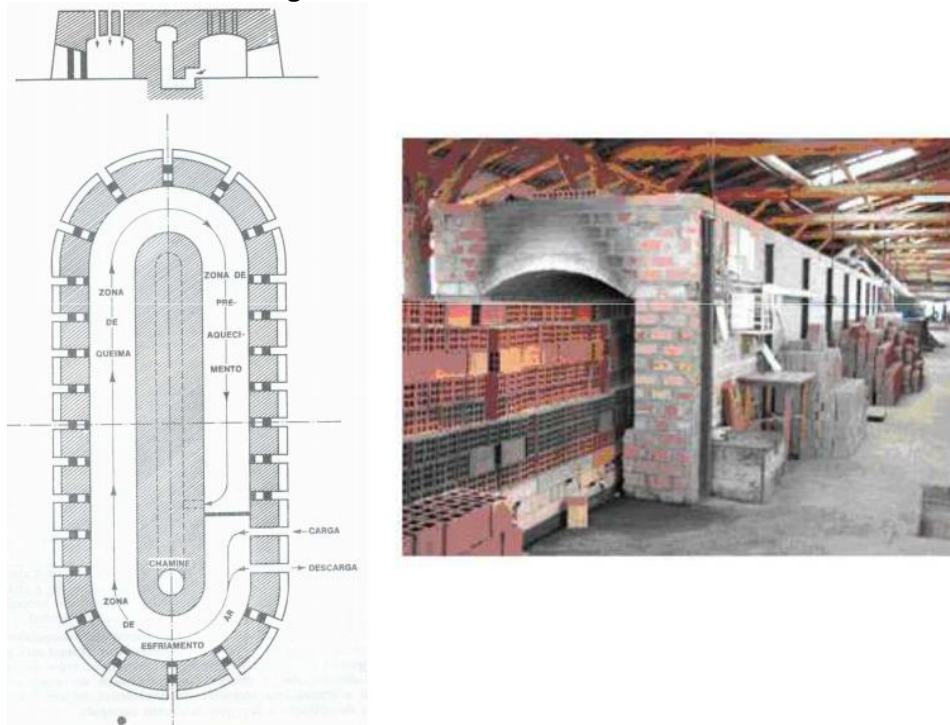


FONTE: (Laboratório de Cerâmica à Distância - UFRGS, 2016)

2.4.6.2.3. Forno Semicontínuo

Os fornos semicontínuos consistem basicamente em dois ou mais fornos intermitentes que são justapostos. Assim, cada um deles faz uma etapa do processo de queima: enquanto um está queimando, outro arrefece, no outro é feita carga e descarga e outro está secando. Isso faz com que o calor irradiado por um dos fornos seja aproveitado nos demais, aumentando o rendimento do combustível. (PETRUCCI, 1998)

Figura 7 - Forno Semicontínuo

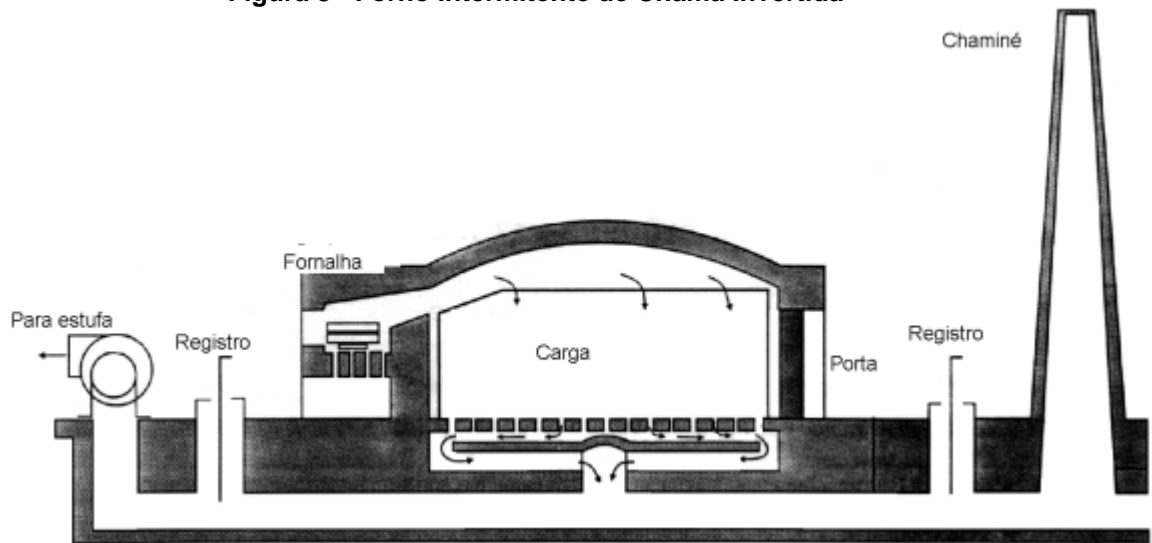


FONTE: Laboratório de Cerâmica à Distância - UFRGS, 2016

2.4.6.2.4. Forno Intermitente de Chama Invertida

Nesse tipo de forno a queima ocorre de cima para baixo, pois os gases da combustão sobem até a cúpula do forno e atravessam as peças em cozimento no sentido contrário. É construído de forma semelhante aos fornos intermitentes comuns, apresentando maior rendimento do combustível utilizado, embora só 20% seja realmente aproveitado para o cozimento; o restante é gasto nos aquecimentos periódicos das paredes ou perdido em irradiação. (ALVES, 1978)

Figura 8 - Forno Intermitente de Chama Invertida

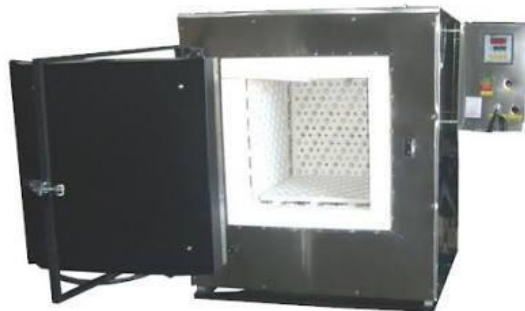


FONTE: Laboratório de Cerâmica a Distância – UFRGS

2.4.6.2.5. Forno de Mufla

Mufla é uma caixa colocada dentro do forno, ao redor da qual circula o calor, utilizada quando é necessário que a chama não entre em contato direto com as peças. (ALVES, 1978)

Figura 9 - Forno de Mufla



FONTE: Laboratório de Cerâmica à Distância - UFRGS, 2016

2.4.6.2.6. Forno Combinado

É composto por dois fornos sobrepostos, sendo que o aquecimento no forno superior é direto e no inferior por chama invertida. É usado para a fabricação de

biscoitos e vidrados. (LABORATÓRIO DE CERÂMICA À DISTÂNCIA - UFRGS, 2016)

2.4.6.2.7. Forno de Cuba

Os fornos de cuba somente são usadas para produção em pequena escala. São semelhantes aos fornos intermitentes comuns, porém com diferentes tamanhos. (BAUER, 1994)

2.4.6.2.8. Forno de Túnel

O forno de túnel foi inventado em 1877, é um forno contínuo, e tem se mostrado um modelo bastante superior em relação aos demais, por apresentar melhor rendimento térmico e economia de mão-de-obra superior a 2/3. É formado por um longo túnel, com a câmara de queima situada no centro. O material é introduzido por vagonetas móveis, sofrendo um pré-aquecimento, passa então pela zona de fogo e vai resfriando até sair do túnel. Os carrinhos podem ser movimentados por correntes ou em casos mais comuns, são empurrados por um êmbolo com velocidade mínima, cujo comprimento é quase o mesmo da vagoneta; assim, toda vez que ele atinge o comprimento máximo, é recuado e uma nova vagoneta entra no lugar, empurrando a anterior. (BAUER, 1994)

A seção do forno deve ser o menor possível, suficiente apenas para a passagem do material que está passando, para que não haja muita perda de calor. Em certas ocasiões são construídas muflas para que a peça não sofra ação direta do contato com o calor. O combustível mais utilizado nesse tipo de forno é o óleo, mas pode ser projetado para lenha, carvão, gás e até eletricidade. As principais desvantagens do modelo são a elevada despesa inicial de instalação e a necessidade de que o tipo de material a cozer seja sempre o mesmo, pois necessitando-se mudar o material, devem ser feitas alterações na velocidade, chama, entre outros aspectos que podem vir a atrasar a produção. (BAUER, 1994)

Figura 10 - Forno de Túnel

FONTE: (Laboratório de Cerâmica à Distância - UFRGS, 2016)

2.4.7. Acabamento

Grande parte dos produtos cerâmicos é retirada dos fornos, inspecionada e remetida ao comércio. Porém, certos produtos necessitam outros processos além, a fim de atender algumas características que não podem ser obtidas durante o processo de fabricação. O processamento pós-queima é chamado de acabamento, podendo incluir ações como polimento, corte, furação, entre outros. (PORTAL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016)

2.4.8. Esmaltação e decoração

Alguns produtos cerâmicos, como os destinados a louça sanitárias, louça de mesa, isoladores elétricos ou materiais de revestimento, recebem ao final do processo uma fina camada de um material chamado de esmalte, que dá ao material um aspecto vítreo. Ela contribui para aspectos estéticos, higiênicos e também na melhoria de algumas propriedades mecânicas e elétricas. Além disso, muitos destes materiais passam pela decoração, que pode ser feita por serigrafia, decalcomania, pintura e outros. (PORTAL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016)

2.4.8.1. Produtos complementares ao processo cerâmico

2.4.8.1.1. Esmaltes

Os esmaltes básicos e as serigrafias são os materiais mais utilizados no setor de cerâmica. Podem ser encontrados na forma de compostos moídos, possibilitando a obtenção de diversos efeitos estéticos. Dá-se o nome de esmalte ou vidrado às misturas de matérias-primas naturais e produtos químicos ou compostos vítreos que são aplicados na superfície da placa cerâmica após a queima, conferindo-lhe aspecto vítreo e aprimorando a estética, além de tornar o produto impermeável. (LABORATÓRIO DE CERÂMICA À DISTÂNCIA – UFRGS, 2016)

Os esmaltes e vidrados podem ter inúmeras composições, e sua formulação depende das características do corpo cerâmico no qual será aplicado, ou das características finais do próprio esmalte. Entre as matérias-primas naturais podem ser citadas a areia do mar, quartzito, caulim, fluorita, talco, dolomita calcita, entre outras. Como exemplos de produtos químicos empregados no esmalte, tem-se borax, ácido bórico, carbonato de sódio, nitrato de sódio, carbonato de potássio, nitrato de potássio, óxidos de chumbo, carbonato de cálcio, entre outros. (PORTAL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016)

2.4.8.1.1.1. Esmalte cru

O esmalte cru é constituído de uma mistura de matérias-primas em uma granulometria fina, aplicada na superfície cerâmica na forma de suspensão. Durante o processo de queima a mistura se funde e adere ao corpo cerâmico, adquirindo então o aspecto vítreo durante o resfriamento. Esse tipo de material é aplicado em peças queimadas em temperaturas superiores a 1200 °C, como aparelhos sanitários e peças de porcelana. (PORTAL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016)

2.4.8.1.1.2. Esmalte de fritas

Ao contrário dos esmaltes crus, os esmaltes de fritas tem em sua constituição um material chamado frita, definida como um composto vítreo, insolúvel em água, que é obtida por fusão a 1500 °C seguida de resfriamento brusco de misturas

controladas de matérias-primas. O processo de fritagem consiste na insolubilização dos componentes solúveis em água após tratamento térmico. Esse tipo de esmalte é utilizado em produtos submetidos a temperaturas inferiores a 1200 °C. O vidrado é composto basicamente por vitrificantes, fundentes e estabilizantes, que garantem a fusibilidade e estabilidade deste em relação a temperatura final e ao ciclo de queima. (LABORATÓRIO DE CERÂMICA À DISTÂNCIA – UFRGS, 2016)

2.4.8.1.1.3. Preparação do esmalte

A preparação do esmalte consiste em três etapas, sendo elas a dosagem das matérias-primas, a moagem e homogeneização a úmido em moinho de bolas e por último o armazenamento em tanques com agitação. Durante a preparação do vidrado são introduzidos um ou mais produtos químicos na suspensão, que tem por finalidade proporcionar ou corrigir certas características. Esses produtos químicos podem ser ligantes, plastificantes, defloculantes, fluidificantes, dentre outros. (ABCERAM, 2016)

2.4.8.1.1.4. Aplicação do esmalte

Existem diversas técnicas de aplicação de esmalte em corpos cerâmicos, que são definidas com base na forma, tamanho das peças, quantidade e estrutura das mesmas, além dos efeitos que se deseja obter na superfície após finalizada. Os principais métodos que podem ser citados são imersão, pulverização, campânula, cortina, disco, gotejamento e aplicação em campo eletrostático, sendo que em muitas indústrias o setor de esmaltação é totalmente automatizado. Costumam ser adicionados aos esmaltes materiais chamados corantes, cuja formação nos materiais vítreos pode ocorrer de três maneiras: por solução de íons cromóforos, por dispersão coloidal de metais ou por dispersão de metais coloridos.

O processo de fabricação de pigmentos cerâmicos compreende as etapas de pesagem, mistura e moagem da matéria-prima, acondicionamento da mistura moída em caixas refratárias, calcinação das caixas em fornos intermitentes ou de túnel em temperaturas variando entre 1200 °C a 1300 °C, seguidos então da lavagem do material calcinado, moagem e por fim o ensacamento do material acabado.

2.5. Argamassa Colante

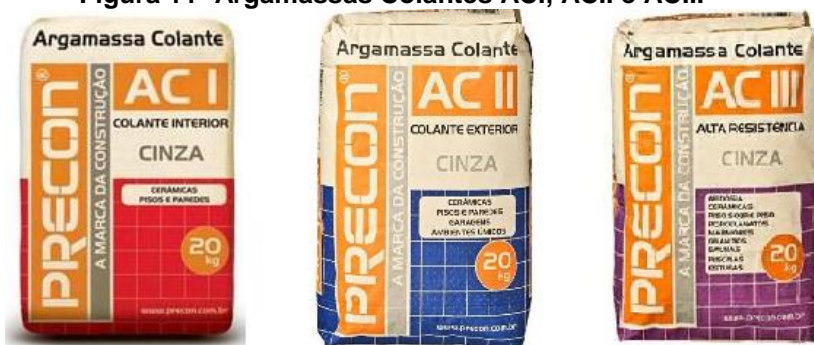
A argamassa colante industrializada é ideal para o assentamento de material cerâmico. É composta por cimento e areia, basicamente, recebendo por vezes aditivos químicos que garantem aderência e capacidade de retenção de água. Quando misturada com água, resulta em uma massa homogênea, adesiva e com boa trabalhabilidade e elasticidade. (ESCOLA ENGENHARIA, 2016)

Para escolher o tipo de argamassa a ser utilizada em uma obra, é necessário observar o ambiente de aplicação, se é interno ou externo, além das variações de temperatura que a peça aplicada virá a sofrer, bem como a superfície de aplicação e tipo de revestimento. Essas são algumas das variáveis importantes para o desempenho da argamassa colante. (MAPA DA OBRA, 2016)

As argamassas colantes dividem-se em três tipos, estabelecidas de acordo com o local de aplicação e propriedades requeridas. A escolha do melhor tipo influenciará no desempenho e na qualidade do revestimento final.

O primeiro tipo é denominado Argamassa Colante I – ACI, sendo indicado para o revestimento de áreas internas, podendo ser aplicado tanto em áreas secas quanto molháveis, como áreas de serviço e banheiros, pois é bastante resistente à umidade e temperatura habitual desses espaços. A Argamassa Colante II pode ser aplicada em ambientes internos ou externos, pois é mais resistente à exposição climática, com capacidade de absorver variações de temperatura, umidade e ação do vento, permitindo aplicação de revestimentos em paredes, fachadas, piscinas de água fria, lajes, pisos de áreas públicas ou ao ar livre, além de pisos cerâmicos industriais. A Argamassa Colante III – ACIII é a mais aderente de todas, sendo por esse motivo, indicada para assentamento de revestimentos em fachadas onde há maior risco de acidentes por queda de peças, além de piscinas de água quente, saunas e para o assentamento de peças com tamanho maior que 60x60cm. (ESCOLA ENGENHARIA, 2016)

Figura 11- Argamassas Colantes ACI, ACII e ACIII



FORNTE: PRECON LTDA

A diferença entre um tipo e outro de argamassa está na quantidade de aditivo utilizada, que determina a aderência da mesma. Além dos tipos citados, há a argamassa colante fornecida com a nomenclatura E – ACI E, ACII E e ACIII E, o que significa que o início do endurecimento a partir do momento de aplicação é mais demorado. São argamassas apropriadas para situações rigorosas, como em lugares onde há incidência de ventos fortes. A norma brasileira que determina e regulamente o uso da argamassa colante no Brasil é a NBR 14081:2004 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos. (MAPA DA OBRA, 2016)

Além das observações já descritas, é necessário observar uma das mais importantes propriedades da argamassa colante, chamada de tempo em aberto. Segundo a NBR 14081: 2004, tempo em aberto é o intervalo entre a aplicação da argamassa até a formação de uma pele que impede a aderência na peça; é definida ainda como o máximo intervalo de tempo, depois de estendidos os cordões, em que as placas podem ser assentadas dentro da resistência de arrancamento estabelecidas em norma (NBR 14081:2004, Parte 3 – Determinação do tempo em aberto).

É importante salientar que o tempo em aberto da argamassa ensaiada em laboratório em condições padronizadas não é o mesmo que o tempo em aberto da argamassa na obra, em condições reais, pois nesta situação devem ser levados em conta fatores externos, que interferem nessa propriedade, como absorção do substrato e variação das condições ambientais no momento de aplicação. (INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO – USP SÃO CARLOS)

A argamassa colante, depois de aplicada, perde água, causando a diminuição do tempo em aberto, de duas formas: por sucção da base ou por evaporação. A perda de água por sucção é influenciada pelo volume de poros no substrato e pela

força capilar, que varia em função do diâmetro dos poros. (SELMO, 1989). A perda de água por evaporação depende de fatores ambientais, como a temperatura, que quanto mais alta, mais rápida será a evaporação; já uma maior umidade relativa do ar reduz a evaporação, contribuindo para o aumento do tempo em aberto, ou vice-versa.

O tempo de maturação da argamassa colante é o intervalo de tempo de descanso desta após a sua mistura, que varia de 10 a 15 minutos, servindo para que os aditivos iniciem as reações. Passado esse tempo, a argamassa deve ser imediatamente remisturada e assim estará pronta para uso. (IOPPI, PRUDÊNCIA e IRIYAMA, 1995).

2.5.1. Camadas do revestimento

Os revestimentos de argamassa geralmente são compostos por três camadas superpostas, contínuas e uniformes: chapisco, emboço (massa grossa) e reboco (massa fina), cada uma com uma função específica e que requer cuidados com relação ao traço e forma de execução. Em alguns casos, a argamassa é aplicada em uma única camada, denominada massa única, que desempenha de uma vez só todas as funções das camadas de emboço e reboco. (BAÍA e SABBATINI, 2001)

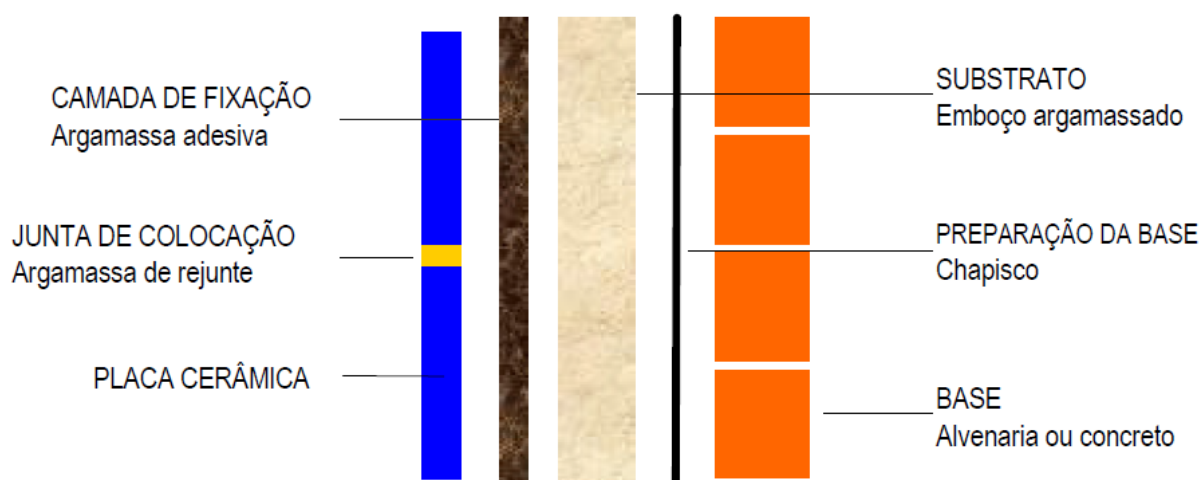
O chapisco é uma etapa que consiste no preparo da base com o objetivo de torna-la mais rugosa e homogênea à absorção de água, tendo por função também facilitar a ancoragem do emboço, por isso requer uma argamassa de alta resistência mecânica. (MAPA DA OBRA, 2016)

O chapisco pode ser convencional, aplicado pelo lançamento de uma argamassa fluida sobre a base com a colher de pedreiro, industrializado, aplicado diretamente sobre a estrutura de concreto com uma desempenadeira denteada, ou rolo, que pode ser aplicado tanto na alvenaria como na estrutura, com rolo para textura acrílica. O emboço é a camada aplicada após o chapisco, proporcionando a superfície requerida para o acabamento final. Em alguns casos, a camada de emboço requer espessuras elevadas, maiores que 40 mm; nesses casos é recomendado que a camada seja reforçada. Este reforço normalmente é feito com telas metálicas, que são indicadas para atenuar o aparecimento de fissuras provenientes das movimentações. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2013)

Por último tem-se a camada de reboco, chamada também de massa fina, que torna a textura da parede mais lisa para receber o acabamento final. É aplicado com desempenadeira em movimentos circulares. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2013)

As bases de aplicação do revestimento de argamassa são a estrutura de concreto armado e a alvenaria de vedação, constituída de tijolos ou blocos. As diferentes características dessa base de aplicação interferem de forma significativa nas propriedades do revestimento, devendo ser consideradas desde o momento da escolha da argamassa. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORRLAND, 2013)

Figura 112 - Camadas do revestimento de argamassa



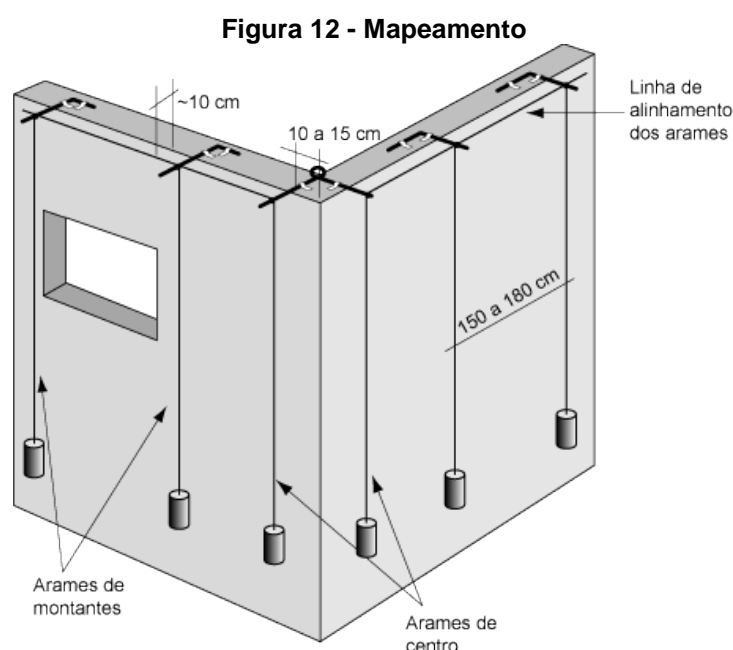
FONTE: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

2.5.2. Execução de revestimentos de argamassa

O primeiro passo para que o revestimento de argamassa seja executado com qualidade, é a regularização da base, que envolve um conjunto de atividades que visam adequar a base ao recebimento da argamassa. São atividades relativas à limpeza da estrutura e da alvenaria, eliminando irregularidades superficiais, removendo incrustações metálicas e preenchendo furos. A base de aplicação não pode apresentar desvios de prumo e planeza. A limpeza da base deve ser feita por meio de escovação, lavagem ou jato de areia, de acordo com o grau de dificuldade de remoção das impurezas. Feito isso, deve ser realizado o chapiscamento da base. O chapisco deve ser aplicado sempre nas fachadas e superfícies de concreto, de

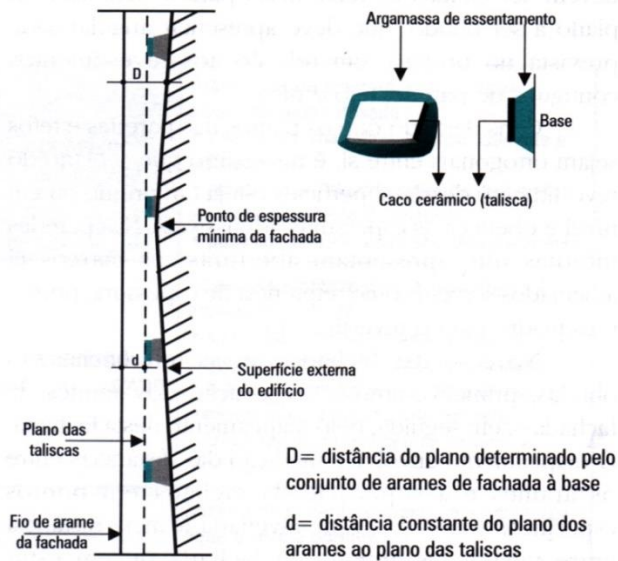
acordo com especificações de projeto. Serve para regularizar a base, melhorando a aderência. (BAÍA e SABBATINI, 2000)

A etapa seguinte é a definição de referências do plano do revestimento, o qual deve seguir a angulação prevista no projeto em relação aos ângulos contíguos de parede, piso e teto. É necessário que o plano do revestimento esteja em prumo ou em nível, uma vez que os planos das paredes e tetos são ortogonais entre si, obedecendo as espessuras admissíveis. Em paredes internas com aberturas, os marcos servem como referência de espessura, prumo e esquadro para o revestimento. Já em fachadas, as referências são obtidas pela locação dos arames seguida pelo mapeamento da fachada, que envolve a medição das distâncias entre os arames e a superfície da mesma, a partir da qual é definida a espessura do revestimento da fachada. Após definidas as espessuras, deve ser feito o taliscamento, etapa que consiste na fixação de cacos cerâmicos em pontos específicos que respeitem a espessura definida. As imagens a seguir mostram um esquema de mapeamento e taliscamento, respectivamente:



FONTE: Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa, 2000 – 2 ed.

Figura 13 - Taliscamento



FONTE: Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa, 2000 – 2 ed.

Feito esse processo, pode-se dar início a aplicação da argamassa propriamente dita. Esta aplicação deve ser feita por aplicação enérgica do material sobre a base, manualmente ou de forma mecânica. Quando o revestimento for de massa única, para recebimento de pintura, a argamassa deve ser aplicada imediatamente após a execução das mestras; já em casos de emboço e reboco para pintura ou revestimento cerâmico, essa observação não se faz necessária. Depois de aplicada a argamassa, é necessária uma compressão feita com a colher de pedreiro, a fim de eliminar os vazios e regularizar a superfície. (BAÍA e SABBATINI, 2000).

Figura 14 - Execução de Argamassa Colante



FONTE: Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa, 2000 – 2 ed.

Após a aplicação da argamassa é feito o sarrafeamento, etapa que serve para aplainar a superfície revestida, com o auxílio de uma régua de alumínio apoiada nos referenciais de espessura. Feito isso, as taliscas são retiradas, com o sequente preenchimento dos espaços deixados. As etapas seguintes são denominadas desempenho e camurçamento. Para o desempenho, é utilizada a desempenadeira, com a qual são feitos movimentos circulares sobre a superfície do emboço, imprimindo-se certa pressão. O camurçamento é executado com uma esponja ou com uma desempenadeira com espuma, também com movimentos circulares sobre a superfície do revestimento, a fim de proporcionar a esta superfície uma textura mais lisa e regular. (BAÍA e SABBATINI, 2000).

Para finalizar o revestimento, devem ser executados os detalhes construtivos, como as juntas de trabalho, quinas e cantos, peitoris, pingadeiras e reforço com tela. Essa etapa pode ser realizada junto com a execução do revestimento, propriamente dita, ou após seu desempenho e camurçamento, variando de acordo com o tipo de detalhe. Quando o revestimento é para aplicação de cerâmica, deve ser feita ainda a camada de reboco após o emboço, que consiste basicamente na aplicação da argamassa sobre o emboço com uma desempenadeira. (BAÍA e SABBATINI, 2000).

2.6. Argamassa de Rejuntamento

Rejunte é o nome dado à argamassa usada para preencher as juntas de assentamento, aliviando as tensões provocadas no revestimento cerâmico. Quanto maior for a junta, maiores serão as tensões, e quanto maiores as tensões, mais flexível deve ser a argamassa de rejuntamento. Além disso, quanto mais fina for a junta, mais aderente deve ser a argamassa. Junta de assentamento, por definição, é o espaço deixado entre duas placas cerâmicas depois de assentadas, que tem como finalidades corrigir o alinhamento das placas permitindo que a cerâmica resista às tensões criadas pela absorção de água e facilitar a troca de placas sem risco de quebra das placas periféricas, além de melhorar esteticamente o aspecto do revestimento. (PORTAL AEC WEB - Arquitetura, Engenharia e Construção).

As argamassas de rejuntamento mais conhecidas e utilizadas são aquelas à base de cimento, constituídas de cimento Portland, agregados minerais, polímeros, pigmentos inorgânicos e outros aditivos. Esse tipo de argamassa pode ser classificado em Tipo I (AR I) e Tipo II (AR II). A argamassa tipo I é indicada para uso

em ambientes internos e externos, tendo a aplicação restrita a locais de pouco trânsito de pedestres e em placas cerâmicas que apresentam índice de absorção de água maior que 3%. Segundo dados do Portal da Arquitetura, Engenharia e Construção – AEC WEB, 2016 -, em revestimentos externos nos quais for empregada a argamassa do tipo AR I, não se pode exceder um limite de 20m² no piso e 18m² na parede, pois a partir desses valores é necessário o uso de juntas de movimentação. A argamassa do tipo II é superior em algumas qualidades à do tipo I, sendo também recomendada tanto para ambientes externos quanto internos, porém permite intenso trânsito de pedestres nesses ambientes, além de ser aplicável a placas com baixo grau de absorção de água (menor que 3%). As argamassas de rejuntamento à base de cimento são normalizadas no Brasil pela ABNT NBR 14992:2003 - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaio.

Figura 16 - Argamassa de rejuntamento à base de cimento



FONTE: FONTE: Weber Saint-Gobain LTDA

A execução do rejunte à base de cimento deve ser iniciada apenas 3 dias após o assentamento das placas cerâmicas. Antes disso é necessário molhar as juntas que receberão a argamassa, principalmente em ambientes expostos ao sol ou em regiões onde o clima for muito quente e seco. Além disso, é importante que as juntas permaneçam limpas e desobstruídas. O produto deve ser misturado até tornar-se homogêneo, sendo então pressionado sobre a junta de forma a garantir o perfeito preenchimento, usando-se espátulas de plástico flexíveis, rodos de borracha,

desempenadeiras especiais. Feito isso, deve se retirar o excesso de argamassa, frisando o rejunte com uma ferramenta de madeira cuja ponta é arredondada, para garantir total penetração do produto na junta. (BAÍA, SABBATINI, 2000).

Figura 17 - Remoção dos excessos de argamassa de rejuntamento



FONTE: PORTAL AEC WEB - Arquitetura, Engenharia e Construção

É importante tomar alguns cuidados durante a execução do rejunte, para que o produto apresente bom desempenho, como a quantidade de água correta e uma boa homogeneização do produto.

Além da argamassa de rejunte à base de cimento, encontra-se no mercado a opção do rejunte epóxi. Apesar de ser um material mais caro, suas qualidades são excelentes, pois é capaz de proporcionar acabamento liso, evitando que a sujeira grude com facilidade, além de absorver menos água que a argamassa de cimento. É recomendado para uso em áreas úmidas e onde a necessidade de limpeza é elevada, pois apresenta alta resistência a manchas e formação de fungos. (BAÍA, SABBATINI, 2001). A argamassa epóxi não é regulamentada em norma no Brasil, mas algumas normas internacionais já trazem especificações quanto ao uso do produto, como a ANSI (American National Standards Institute) e a ASTM (American Society for Testing and Materials).

Figura 18 - Argamassa de Rejuntamento à base de resina epóxi



FONTE: Weber Saint-Gobain LTDA

As especificações desse material normalmente são dadas pelo fabricante, mas geralmente as variações estão nas cores disponíveis e tamanho de embalagens. O rejunte epóxi é indicado para juntas de 2 a 5 mm em paredes, e de 2 a 8 mm no piso. Os tamanhos das embalagens costumam ser de 1 kg do componente A, que é a resina epóxi, e 1 kg do componente B, o endurecedor, além de uma quantidade de carga mineral. Os componentes devem ser misturados todos de uma só vez, para que não haja o risco de erros na dosagem. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 06/2011)

Da mesma forma que o rejunte cimentício, para aplicação do rejunte epóxi é necessário que as juntas estejam limpas, e o início da execução deve se dar após 72 horas, aplicando-se a mistura em pequenas áreas, uma vez que depois de endurecido o produto não pode ser removido. O processo de execução é basicamente o mesmo nos dois produtos: aplicação do rejunte com uma espátula, remoção dos excessos, limpeza final da cerâmica. Em áreas externas, o rejunte epóxi deve ser protegido por 24 horas, e quando o serviço estiver sendo executado em piscinas ou áreas molhadas, faz-se necessária uma semana de espera para o contato com a água. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 06/2011)

2.7. Execução de Revestimento Cerâmico

A qualidade de execução de um revestimento cerâmico parte, inicialmente, da escolha do material adequado ao serviço, atentando-se para a necessidade de atender os requisitos estabelecidos em projeto. Além disso, é imprescindível

observar se as peças compradas são certificadas, pois estas devem passar por um processo de verificação das características, realizado por um órgão certificador do INMETRO, de acordo com a NBR 13818: 1997. Além disso, é importante prever como os materiais serão armazenados até o momento de uso, portanto, sugere-se que os materiais sejam guardados ao abrigo de intempéries, seguindo algumas recomendações:

- As caixas de placas cerâmicas devem ser empilhadas até uma altura máxima de 1,5m sobre base resistente;
- Os sacos de argamassa devem ser empilhados de maneira que não ultrapassem o limite máximo de 15 sacos;
- Os sacos de argamassa não podem ter contato com o chão.

Antes de se iniciar o processo de assentamento do revestimento cerâmico, deve se garantir que a superfície de assentamento está limpa e plana. A planeza da superfície pode ter desvios de no máximo 3mm, sendo eles côncavos ou convexos, medidos com régua de 2m em todas as direções. Em caso de revestimentos externos a planeza deve ser medida considerando-se o edifício como um todo, e não cada andar em separado, pois pequenos desvios no prumo podem gerar problemas sérios na modulação. A verificação nas fachadas é feita com fios de prumo, afastados no máximo 1,5m, sendo necessário que haja um fio de cada lado das esquadrias. (BAÍA e CAMPANTE, 2003).

O assentamento da placa cerâmica deve ser feito com certo intervalo de tempo a partir da execução do emboço, pois é necessário que essa camada tenha tempo de curar e sofrer todas as tensões de retração de secagem. É recomendado um prazo mínimo de 7 dias para revestimentos internos e de até 15 dias em revestimentos externos.

O assentamento do revestimento cerâmico, propriamente dito, varia consideravelmente de ambientes externos para internos, porém alguns dos procedimentos são comuns para os dois ambientes. A placa cerâmica deve ser colocada a cerca de 2cm da posição final e então arrastada com movimentos de vai-e-vem até o ponto. Após, devem ser determinadas as distâncias horizontais e verticais das fiadas das placas em blocos modulares.

Em ambientes externos, a sequência de execução mais adequada é de cima para baixo em planos contínuos. De certa forma, isso facilita o alinhamento das juntas verticais, mas em contrapartida, dificulta o nivelamento entre planos

ortogonais contíguos. A galga entre as juntas de trabalho deve ser demarcada em todas as fachadas ortogonais para servir de referência ao mesmo nível de todas as fiadas horizontais. É necessário observar ainda as condições climáticas no momento de execução do revestimento, pois em dias chuvosos ou muito quentes é provável que haja o comprometimento do nível de aderência exigido em projeto. (BAÍÁ e CAMPANTE, 2003).

É importante observar, na execução de revestimento cerâmico, a execução das juntas necessárias ao bom desempenho do revestimento: juntas de movimentação e de dessolidarização. As juntas de dessolidarização são definidas como o espaço regular que tem como função subdividir o revestimento do piso, a fim de aliviar tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento. Deve estar situada quando ocorrem mudanças no plano, como quinas de paredes, ou em perímetros de área revestidas. Já as juntas de movimentação são consideradas como o espaço que define divisões da superfície revestida com placas cerâmicas, e tem como principal função proporcionar o alívio de tensões que se originam pela movimentação da base onde é aplicado o revestimento ou pela própria expansão das placas.

A NBR 13754:1996 prevê a execução de juntas de assentamento em paredes com área maior que 32m^2 , ou quando uma das dimensões do plano a ser revestido for igual ou maior que 8m. Em locais expostos à insolação ou umidade, devem ser executadas quando as paredes apresentarem área maior ou igual a 24 m^2 , ou quando uma das dimensões do revestimento for igual ou maior que 6 m. de acordo com a NBR, a execução das juntas de dessolidarização é necessária em perímetros da área revestida, encontro da área revestida com pisos, forros, colunas, vigas, ou com outros tipos de revestimento, ou então quando houver mudança de materiais na da parede.

As juntas de movimentação aprofundam-se até a superfície da parede, sendo preenchida com material deformável e vedada com selante flexível. Também podem ser executadas com tiras pré-formadas de materiais resilientes. Essas tiras são colocadas durante o assentamento dos azulejos ou das placas cerâmicas e devem absorver as movimentações do revestimento e garantir estanqueidade à junta.

Na execução de revestimento em ambiente interno, há duas situações possíveis: quando existe forro ou quando ele não existe. Quando não há forro, deve-se haver uma placa cerâmica inteira a partir da linha do teto; caso contrário, quando

houver forro, a placa será fixada a partir do piso, iniciando-se o assentamento tendo como base a linha de visão do operário agachado na posição de trabalho, de baixo para cima, até o limite superior. (BAÍA e CAMPANTE, 2003).

2.8. Patologias em Revestimento Cerâmico

As patologias em revestimentos cerâmicos podem se originar na fase da concepção do projeto, momento em que são escolhidos materiais que possam vir a ser incompatíveis com as condições de uso, ou quando o projetista não leva em consideração as interações do revestimento com outras partes da edificação, ou então na fase de execução, quando o assentador não domina a técnica de aplicação ou não há o controle adequado do processo de produção. As patologias mais comuns são as trincas, gretamento, fissuras, eflorescências, deterioração das juntas e o descolamento de placas.

As trincas, fissuras e gretamentos aparecem devido a perda de integridade da superfície da placa cerâmica, podendo ser limitada a apenas um defeito estético ou evoluir para um deslocamentos, como é o caso das trincas. Esse tipo de patologia se caracteriza por rupturas no corpo cerâmico, causando a separação da placa em partes menores, com aberturas de 1mm ou mais. Quando essa abertura for inferior a 1mm, o problema recebe o nome de fissura, não havendo a ruptura total da placa. Já o gretamento é representado por uma série de fissuras na superfície da placa, que dão a ela uma aparência de teia de aranha. Campante (2008) destaca alguns fatores que podem causar esse tipo de patologia:

- A dilatação e retração das placas, que ocorre quando há variação térmica ou de umidade, gerando tensões internas que, ao ultrapassarem o limite de resistência da peça ou da camada de esmalte, geram as fissuras e o gretamento;
- Deformação estrutural excessiva: quando há elevada deformação estrutural na edificação, podem surgir tensões na alvenaria que quando não são completamente absorvidas, podem se transferir para o revestimento, que podem não suportar os níveis de tensões e destacar-se do substrato;
- Ausência de detalhes construtivos: a falta de elementos como vergas e contravergas nas aberturas, pingadeiras, platibandas e juntas de

movimentação podem contribuir na dissipação das tensões que chegam até o revestimento;

- Retração da argamassa na flexão: é um problema recorrente de quando a argamassa utilizada é dosada em obra em vez da industrializada. A hidratação do cimento causa uma retração na argamassa, capaz de causar um aperto na placa cerâmica, que estando firme à argamassa, pode tornar a superfície convexa e tracionada, gerando gretamento e fissuras.

Outro problema comum em revestimento são as eflorescências, evidenciadas pelo surgimento de depósitos cristalinos de cor esbranquiçada na superfície da placa, que comprometem a aparência do revestimento. Esses depósitos podem aparecer quando os sais solúveis presentes no revestimento são transportados pela água utilizada na construção ou por infiltrações. Os sais se solidificam ao entrar em contato com o ar, causando os depósitos. (BAÍA e CAMPANTE, 2003).

A deterioração das juntas é um problema que afeta diretamente o rejunte, porém compromete o desempenho dos revestimentos cerâmicos como um todo, já que o rejunte é o componente responsável pela estanqueidade do revestimento cerâmico e pela capacidade de absorver deformações. É possível perceber a deterioração nas juntas quando ocorre a perda de estanqueidade e o envelhecimento do material de preenchimento das juntas. (BAÍA e CAMPANTE, 2003).

O mais comum e mais sério problema em revestimentos cerâmicos é o chamado deslocamentos, patologia caracterizada pela perda de aderência da placa cerâmica ao substrato ou da argamassa colante, quando as tensões surgidas no revestimento ultrapassam a capacidade de aderência entre placa e argamassa.

Este trabalho tem como foco o estudo dessa patologia, buscando encontrar e estudar possíveis agentes causadores do problema.

2.8.1. Descolamento de placas cerâmicas

O descolamento cerâmico de uma placa de revestimento é caracterizado basicamente pela perda de aderência da peça ao substrato ou a argamassa, ocorrendo quando há um aumento de tensões no revestimento cerâmico, ultrapassando a capacidade de aderência das ligações entre placa e argamassa. É uma das patologias mais comuns em revestimento cerâmico, e também pode ser

considerada uma das mais graves, por apresentar grande risco de acidentes, principalmente em fachadas, além do alto custo de reparação. (BAÍA e CAMPANTE, 2003)

Um dos primeiros sinais que se pode observar quando ocorre esta patologia é a ocorrência de um som oco na placa ou na área estufada da camada de acabamento, seguido então pelo destacamento da placa nessa região, o que pode ocorrer imediatamente ou não. As causas do problema podem ser muitas, dentre as quais as mais apontadas são a qualidade da argamassa colante, problemas durante a execução, mão-de-obra inadequada e processos de fabricação das peças. Das hipóteses levantadas, a que tem se mostrado mais pertinente e, portanto preocupante, é a questão da produção da cerâmica por via seca, processo esse que supostamente não permite que a placa tenha a aderência necessária, agravando-se com um aumento elevado da expansão por umidade da peça, que ao entrar em contato com a água, sofre consideráveis aumentos em suas dimensões iniciais, gerando o estufamento e posterior descolamento da placa. (TÉCHNE, 09/2016)

O Comitê de Estudos de EPU da Anfacer e CCB aponta que dentro do revestimento, considerado como o conjunto de chapisco, emboço, argamassa e placas, essas últimas representam a parte que apresenta os maiores problemas de descolamento e queda, pois são os componentes mais estáveis, apresentando menos variáveis a serem controladas. Quando a expansão sofrida pela placa fica dentro do limite recomendado em norma, de 0,6mm/m, normalmente 20 ou 30% da expansão ocorre na primeira semana após a queima, e o restante, ocorrerá aos poucos ao longo de mais ou menos 40 meses.

No ano de 2015, a empresa Neoway Criactive apresentou ao SINDUSCON-SP uma pesquisa feita em 87 construtoras do Brasil, das quais 20,7% apresentaram descolamento cerâmico. O fato que mais chamou atenção na pesquisa foi de que 100% dos casos analisados originaram-se em revestimentos produzidos por via seca. (MAPA DA OBRA, 2016)

A cerâmica via seca vem sendo adotada com mais frequência nos últimos cinco anos pelas construtoras, principalmente por apresentar um menor custo. Entretanto, o prejuízo tem se mostrado elevado com a ocorrência da patologia, que em alguns casos se manifesta já na fase de limpeza da obra. Variáveis como tamanho de peças e tipo de substrato foram tratadas como irrelevantes, pois as

peças que descolam são dos mais variados tamanhos e sobre todos os tipos de substrato. (CONSTRUÇÃO MERCADO, 05/2016).

Inúmeros trabalhos internacionais a respeito de EPU, inclusive do Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), considerado um dos mais respeitados institutos de pesquisa na área de cerâmica no mundo, mostram claramente que a EPU é uma incógnita mundial, pois sua determinação é fortemente influenciada pela agressividade do ensaio. O comitê ainda salienta que não é possível afirmar categoricamente que a EPU seja o único responsável pelo descolamento do revestimento, apesar de ser um dos fatores de maior influência sobre a patologia.

Figura 15 - Descolamento de placas cerâmicas



FONTE: Fórum da Construção IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura
(2017)

3. METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se em uma pesquisa analítica através da comparação de ensaios realizados pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer e pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo conforme recomendações da NBR 13818/1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio, que normaliza os ensaios de Determinação de Absorção de Água (Anexo B) e Determinação da Expansão por Umidade (Anexo J), além da norma ASTM C 370, que determina um método para a realização do ensaio de expansão por umidade.

Foram ensaiados lotes de placas cerâmicas de quatro obras diferenciadas, sendo três delas ensaiadas pelo Centro Tecnológico L.A. Falcão Bauer, e duas pelo Laboratório do IPT São Paulo. Nota-se que uma das obras teve suas peças ensaiadas pelos dois Laboratórios, permitindo uma análise mais precisa dos resultados obtidos para esses lotes. Os ensaios foram realizados com cinco lotes de cada obra, sendo que os lotes continham cinco e seis amostras de placas cerâmicas de pisos e paredes, fabricadas por empresas variadas.

Além disso, a pesquisa é fundamentada por análises de imagens de obras que apresentaram casos de descolamento de placas cerâmicas de revestimento de pisos e paredes, ao longo do ano de desenvolvimento da pesquisa.

3.1. Análise de Ensaio

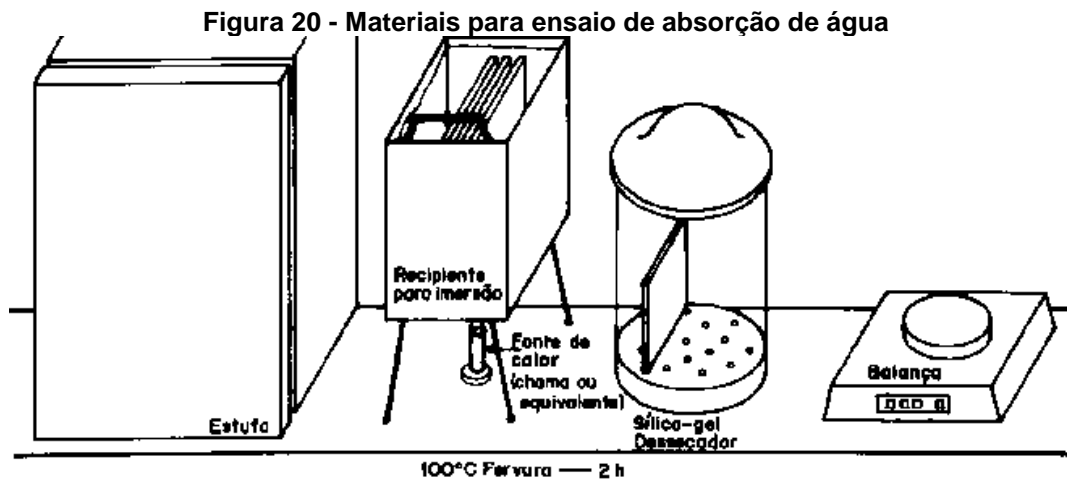
Os ensaios de Absorção de Água e Expansão por Umidade foram realizados no ano de 2016, pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer, em peças novas e usadas para revestimento de paredes e pisos, fabricadas pela empresa de cerâmicas Portobello. As dimensões das peças ensaiadas de revestimento de parede eram de 300x460mm, enquanto que as peças de revestimento de pisos tinham dimensões de 410x410mm.

3.1.1. Determinação da Absorção de Água

O Anexo B da NBR 13818/1997 padroniza o ensaio de absorção de água em cerâmica. A aparelhagem necessária para a realização do ensaio consiste em uma

estufa capaz de operar à temperatura de até 110°C, com variação de 5°C para mais ou menos, um recipiente de hidratação construído em material inerte, fonte de aquecimento, balança com resolução de 0,01% da massa do corpo de prova, água destilada ou deionizada, dessecador e camurça.

A imagem a seguir mostra o material utilizado no ensaio:



FONTE: NBR 13818/1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio

Inicialmente são preparados os corpos de prova, sendo que cada placa inteira constitui um corpo de prova, e cada ensaio é realizado com dez corpos de prova. Quando a área da superfície da placa for maior que 0,04m², o ensaio deve ser feito apenas com cinco placas inteiras. Segundo a Norma, quando a massa da placa individual for menor que 50g, o corpo de prova deve ser constituído por um número suficiente de placas com massa entre 50g e 100g. Além disso, placas que apresentarem lados maiores que 200mm podem ser cortadas em peças menores, desde que todos os pedaços sejam inclusos no ensaio.

3.1.1.1. Procedimentos

O ensaio consiste em secar os corpos de prova na estufa em temperatura de 110°C, com variações de 5°C para mais ou menos até que os mesmos atinjam massa constante, ou seja, até que as diferenças entre as pesagens realizadas em um período de 24 horas sejam menores que 0,1%. Após a secagem, os corpos de

prova devem ser resfriados no dessecador até temperatura ambiente. A seguir, determina-se a massa de cada corpo de prova, denominada m_1 , sendo que a exatidão de pesagem deve corresponder ao determinado na tabela B.1 da NBR 13818/1997- Anexo B.

Massa da placa (m)	Exatidão da pesagem
50 < m ≤ 100	0,001
100 < m ≤ 500	0,05
500 < m ≤ 1000	0,10
1000 < m ≤ 3000	0,30
m > 3000	1,00

FONTE: NBR 13818/1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio

Verificadas as dimensões em gramas de todas as placas, os corpos de prova são imersos verticalmente no recipiente preparado com água destilada ou deionizada, tomando o cuidado para que não entrem em contato entre si, de forma que o nível de água permaneça 5cm acima das placas, conforme a figura a seguir:

O nível de água deve ser mantido até o fim do ensaio, aquecendo a água até a fervura e mantendo a ebulição por um período de 2 horas. Passado este tempo, remove-se a fonte de aquecimento, colocando-se os corpos de prova sob circulação de água a temperatura ambiente, para que atinjam um ponto de equilíbrio. Com o pano de camurça ligeiramente úmida, é feita uma leve secagem das superfícies dos corpos de prova, seguidos da pesagem com verificação da exatidão conforme a tabela B.1 da NBR 13818/1997. Desta pesagem, obtém-se a massa m_2 , que corresponde ao material saturado.

3.1.1.2. Expressão dos resultados

O índice de absorção de água é expresso em percentual, através da equação 1:

- Equação 1

$$Abs = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100$$

Onde:

- m1 é a massa seca, em gramas;
- m2 é a massa saturada, em gramas.

Por definição da norma, absorção de água (Abs) é a média aritmética dos resultados para os corpos de prova ensaiados, expressa como um decimal.

O relatório com os resultados do ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) Descrição da peça ensaiada, que compreende as dimensões nominais indicadas pelo fabricante e a referência comercial do produto;
- b) Marca ou nome do fabricante;
- c) Absorção de água de cada corpo de prova ensaiado e a média aritmética desses valores;
- d) Referência a NBR 13818/1997;
- e) Data de realização do ensaio.

3.1.2. Determinação da expansão por umidade

O ensaio de determinação da expansão por umidade da cerâmica é padronizado pelo Anexo J da NBR 13818/1997. A realização do ensaio requer a disposição de alguns aparelhos, tais como: quadro de medição de comprimento dos corpos de prova, equipado com micrômetro, relógio comparador ou transdutor com resolução de 0,01mm; barra de referência de aço-níquel com comprimento igual ao do corpo de prova; mufla com capacidade de aquecimento até 600°C, com possibilidade de aumento de temperatura na velocidade de 150°C/h, dotado de controle de temperatura com variação de mais ou menos 15°C; estufa com capacidade de 110°C; recipiente de hidratação construído de material inerte, para manter o corpo de prova em água fervente por 24 horas; fonte de aquecimento e dessecador.

A preparação dos corpos de prova é feita em etapas que requerem grande atenção, iniciando-se por uma verificação preliminar das peças, que consiste na observação de cada corpo de prova, a fim de se certificar de que não possuem trincas antes do ensaio, passando sobre a superfície esmaltada uma solução de 1% de azul-de-metileno, fucsina ou outro corante orgânico impregnante. Cada placa inteira representa um corpo de prova, podendo ser utilizados corpos de prova extraídos de outras placas mediante corte a seco, preferencialmente do centro da

peça, com comprimento de 100 mm e largura de 35 mm, ambos com varrições de 0,2mm para mais ou para menos.

O ensaio deve ser realizado com pelo menos cinco corpos de prova, retirados ao acaso do lote em análise. Em caso de placas extrudadas, o comprimento do corpo de prova deve estar orientado na direção da extrusão. Os corpos de prova devem ser preparados de acordo com o dispositivo de medida de variação de comprimento adotado, com as devidas identificações na extremidade onde serão tomadas as leituras de variação do comprimento.

3.1.2.1. Procedimentos

Inicia-se o ensaio com a secagem dos corpos de prova na estufa a 110°C durante 24 horas, a fim de eliminar a umidade natural das placas. A secagem é seguida pela requeima, procedimento para o qual os corpos de prova são acomodados na mufla, sofrendo aumento de temperatura de 150°C/h, até atingir uma temperatura de 550°C, com variação de 15°C para mais ou menos, que devem ser mantidos por um período de 2 horas. Passado esse tempo, os corpos devem resfriar ainda dentro da mufla, sendo retirados quando atingirem a temperatura de 70°C, com variação de mais ou menos 10°C, e acomodados no dessecador até a medição do comprimento dos corpos de prova.

Deve ser realizada uma leitura inicial do comprimento, denominado de L₀, à qual devem ser reportadas todas as contrações e expansões ocorrendo durante o processo. Em placas inteiras, deve-se colocar a placa padrão com a dimensão de trabalho no quadro de medições e zerar o relógio comparador. O sensor do relógio deve iniciar a 5 mm do ângulo da placa-padrão. A placa-padrão é retirada e coloca-se a placa a ser ensaiada, com a parte superior em contato com os suportes inferiores do quadro de medição, seguida da medição com exatidão de 0,01mm, anotando a medida do lado 1; gira-se a placa, mede-se com essa mesma exatidão e anota-se a medida do lado 2. Essas medições devem ser realizadas quando a temperatura das placas atingir a temperatura ambiente, o que deve ocorrer em até 24 horas, fazendo-se então a média das duas leituras. Havendo a ocorrência de trincas durante o processo de requeima, devem ser coletadas novas peças e reiniciar o processo de requeima com menos velocidade de aquecimento.

Quando o ensaio for realizado com corpos de prova extraídos da placa cerâmica, deve-se anotar o comprimento de cada corpo de prova com relação ao comprimento da placa, determinando o comprimento inicial de cada corpo de prova com exatidão de 0,01 mm.

Os corpos de prova devem ser submersos em água fervente por 24 horas consecutivas, mantendo pelo menos 5 cm de coluna d'água acima dos corpos de prova, tomando o cuidado para que estes não entrem em contato um com o outro ou com as paredes do recipiente. Após 24 horas consecutivas de fervura os corpos de prova devem resfriar até atingir o equilíbrio térmico. Após 3 horas devem ser feitas novas medições.

3.1.2.2. Expressão dos resultados

Os valores de contração e expansão do corpo de prova em relação ao comprimento inicial devem ser calculados para cada um desses corpos. Esses valores são dados pela equação 2:

- Equação 2

$$EPU = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 1000$$

Onde:

- EPU é a expansão por umidade em milímetros por metro (mm/m);
- L1 é a medida da dimensão após o ensaio, em milímetros;
- L0 é a medida da dimensão inicial, antes do ensaio, em milímetros.

O relatório deste ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) Descrição da placa cerâmica ensaiada com sua respectiva referência comercial;
- b) Marca ou nome do fabricante;
- c) Referência a NBR 13818/1997;
- d) Dimensões dos corpos de prova, apenas quando forem cortados;
- e) Dimensões nominais e de trabalho, bem como a espessura indicada pelo fabricante;
- f) Procedência do material quanto a placas novas, material recém produzido com idade de fabricação menor que quatro meses, e placas sem uso ou usadas produzidas a meses ou anos;

g) Resultados obtidos nos cinco corpos de prova ensaiados.

Os resultados dos ensaios de absorção de água e expansão por umidade das placas citadas serão fornecidos pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer, com as devidas solicitações nos relatórios, para que seja possível a análise dos mesmos, podendo-se chegar a conclusões significativas sobre as causas do problema em questão.

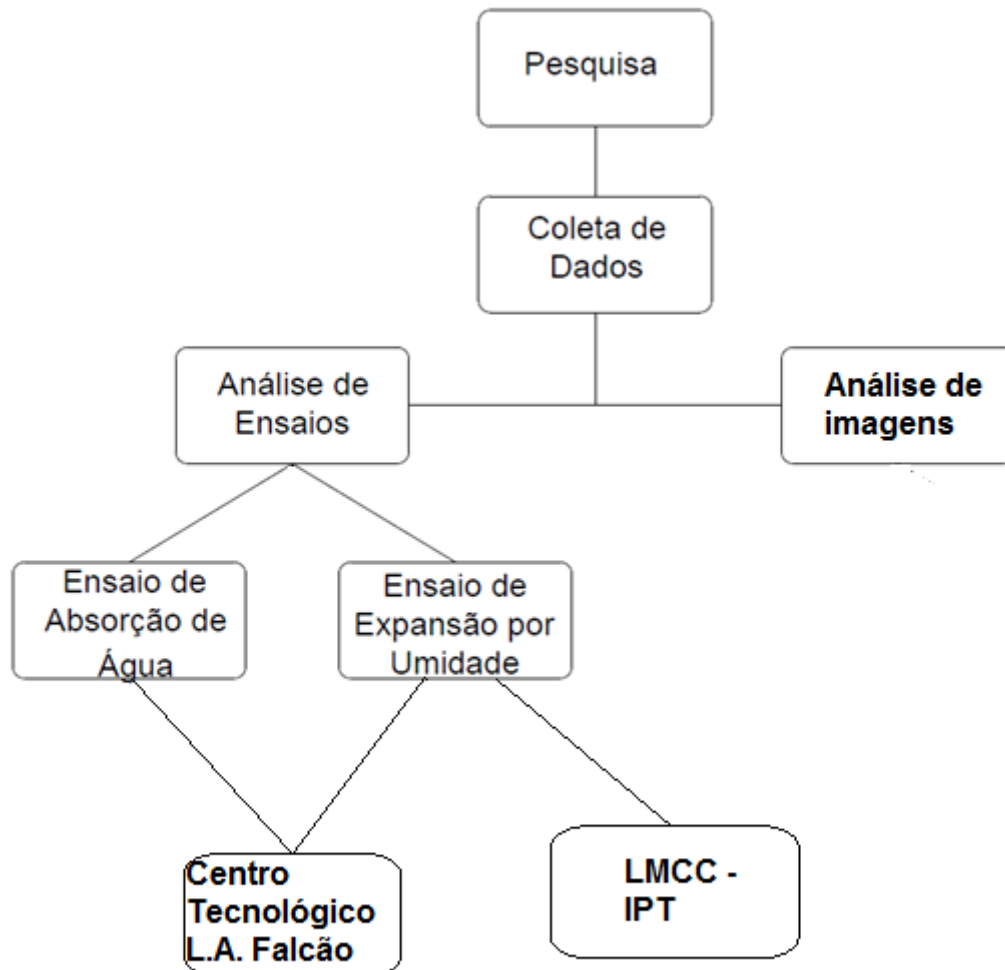
Além disso, estuda-se a possibilidade de realização de novos ensaios para determinação de expansão por umidade das mesmas peças, provenientes do mesmo fabricante e com as mesmas dimensões, porém realizando-se o ensaio em autoclave, a fim de obter-se uma comparação entre os dois resultados, para chegar a uma resposta mais precisa.

3.2. Acompanhamento em obras

Serão realizadas análises com imagens de placas cerâmicas referentes a obras onde ocorreu a patologia em estudo, ao longo do período de realização da pesquisa. Os casos de descolamento de placas cerâmicas serão avaliados com base em fotos do problema, com levantamento das situações em que foi executado o revestimento, como condições climáticas, tipos de material, além de todas as especificações da placa.

3.3. Delineamento da pesquisa

O fluxograma abaixo apresenta um esquema do desenvolvimento desta pesquisa:



FONTE:Autora

4. RESULTADOS

4.1. Ensaio

De acordo com a NBR 13.818/97, foram ensaiadas placas cerâmicas de lotes diferenciados, compostos de cinco e seis amostras de placas, constituindo revestimentos de pisos e paredes, entre peças novas e usadas retiradas de quatro obras distintas. Os ensaios de absorção de água e expansão por umidade foram realizados pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade L.A. Falcão Bauer e também pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT.

É importante observar que, de acordo com o item 3.4.1. do anexo J da NBR 13818/97, para o ensaios de expansão por umidade os corpos de prova devem ser imersos em água fervente por 24 horas consecutivas, mantendo um mínimo de 5 centímetros de coluna d'água. No entanto, os ensaios realizados no Centro Tecnológico Falcão Bauer sofreram uma alteração nesse procedimento, que consiste em colocar os corpos de prova medidos dentro da autoclave, mantendo-os a 5 atm durante duas horas, e após o tempo decorrido, medir novamente o tamanho da placa.

A tabela a seguir representa as médias dos valores encontrados nos ensaios de absorção de água e expansão por umidade, bem como o valor individual máximo encontrado nos ensaios de expansão, para cada lote das três obras em análise pelo Centro Tecnológico Falcão Bauer.

Tabela 5 - Resultados - Centro Tecnológico Falcão Bauer

OBRA	LOTE	FABRICANTE	TAMANHO DAS PEÇAS (mm)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	EXPANSÃO POR UMIDADE (mm/m)	
					VALOR MÉDIO	VALOR INDIVIDUAL MÁXIMO
A	1	EMPRESA 1	410x410	7,43	0,69	0,75
	2		300x460	7,52	0,65	0,68
	3		410x410	8,47	0,79	0,82
	4		300x460	9,27	0,78	0,82
B	1	EMPRESA 2	300x300	7,48	0,61	0,64
	2		300x300	8,00	0,66	0,74
C	1	EMPRESA 3	250x350	8,37	0,54	0,63
	2		250x350	9,71	0,61	0,68

FONTE: Adaptado de Relatório de Ensaio - Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer

O Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro de Tecnologia de Obras e Infraestrutura do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo realizou os ensaios de acordo com a NBR 13818/97, porém, as placas cerâmicas foram de fato colocadas em imersão em água fervente por 24 horas, seguido de tratamento em autoclave.

Os ensaios realizados no Laboratório foram com lotes de placas de duas obras, sendo que uma delas trata-se da Obra A, ensaiada também pelo Centro Tecnológico Falcão Bauer. Além disso, o Laboratório de Materiais de Construção Civil apresentou resultados de expansão por umidade efetiva ou potencial, que é a expansão que a peça pode apresentar após um curto período de hidratação acelerada, e a ocorrida, desde a fabricação da peça até o momento do ensaio, bem como pelo método de fervura e autoclave, conjuntamente.

Cada lote ensaiado é composto por seis corpos de prova, sendo que todas as placas são prensadas e esmaltadas, com dimensões variadas. Os resultados completos serão anexados a este trabalho; a tabela a seguir informa os valores médios encontrados nos ensaios de cada lote.

Tabela 6 - Resultados – Laboratório de Materiais de Construção Civil IPT

OBRA	LOTE	TAMANHO DAS PEÇAS (mm)	EXPANSÃO POR UMIDADE (mm/m)		
			EFETIVA	OCORRIDA	FERVURA + AUTOCLAVE
A	1	410X410	0,33	0,18	0,79
	2	300X460	0,33	0,33	0,86
	3	410X410	0,52	0,38	1,13
	4	300X460	0,35	0,4	1,12
D	1	350X250	0,30	0,25	0,71
	2	350X250	0,36	0,29	0,85

FONTE: Adaptado de Relatório de Ensaio - Laboratório de Materiais de Construção Civil –

Instituto de Pesquisas Científicas de São Paulo

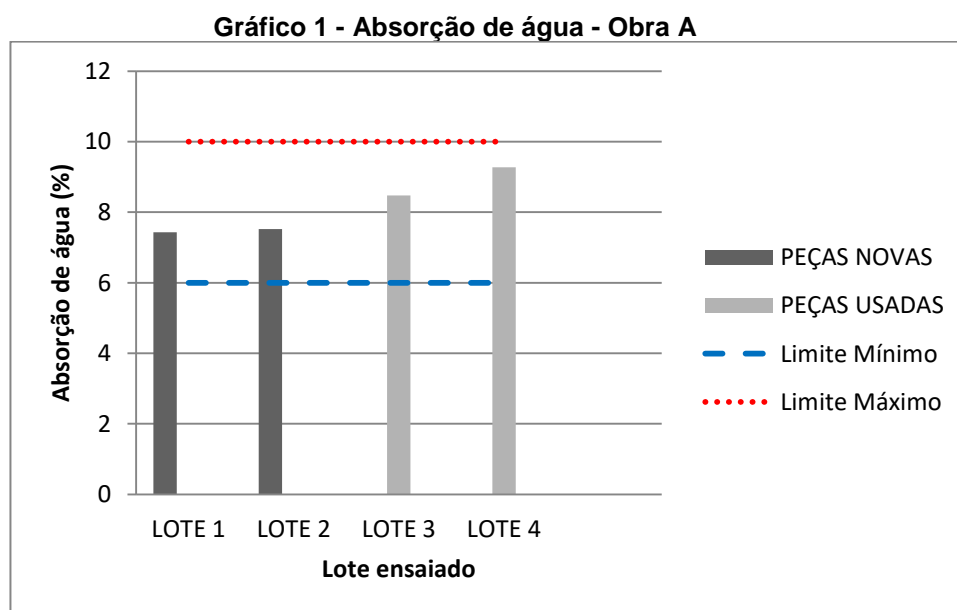
5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Este item apresenta a análise dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e expansão por umidade, realizados no Centro Tecnológico Falcão Bauer e no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT.

5.1. Ensaio de absorção de água

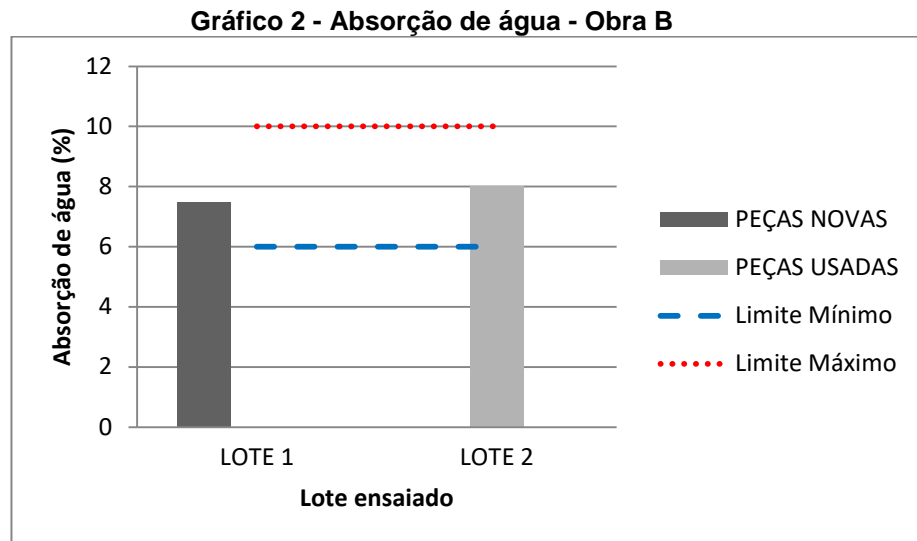
Ao analisar as peças dos lotes correspondentes a Obra A, observou-se que os valores de absorção de água obtidos para os Lotes 1 e 2, que representavam peças novas, foram menores, com valores entre 7,40% e 7,60% de absorção. As peças dos Lotes 3 e 4, correspondentes aquelas peças que já haviam sido utilizadas e descolado do substrato, apresentaram valor maior, entre 8% e 10%.

O gráfico a seguir mostra os valores médios de absorção de água encontrados para os lotes ensaiados da Obra A.

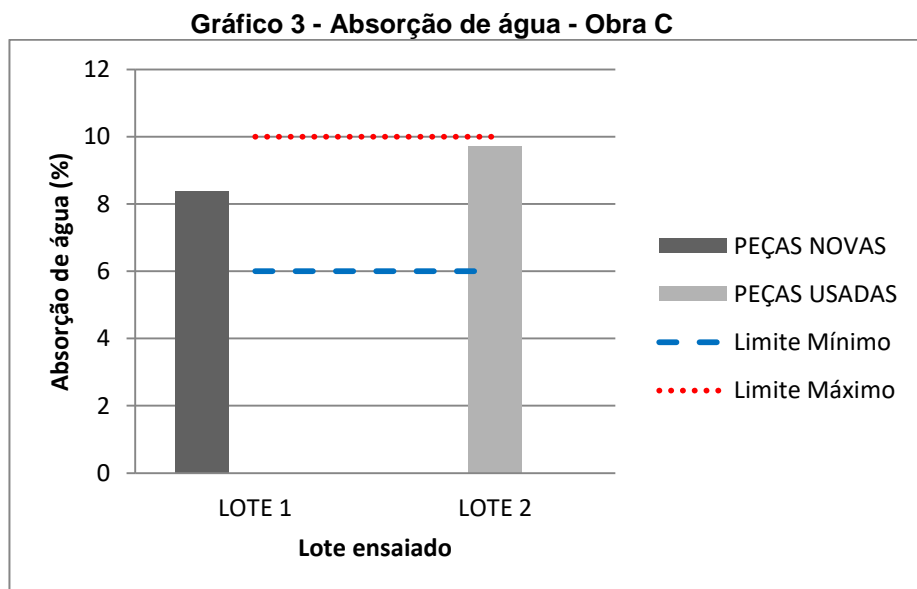


Para a Obra B os materiais foram ensaiados em dois lotes, um referente às peças novas e outro às usadas. Verificou-se também neste conjunto uma pequena diferença entre os valores de absorção dos dois lotes, sendo que o Lote de número 1, cujas placas eram novas, teve valor médio de absorção de água de 7,48%, enquanto que o Lote número 2 apresentou um valor de 8,00% de absorção.

Os valores são demonstrados no gráfico abaixo, de acordo com o limite do grupo de absorção especificado pela NBR 13818/97.



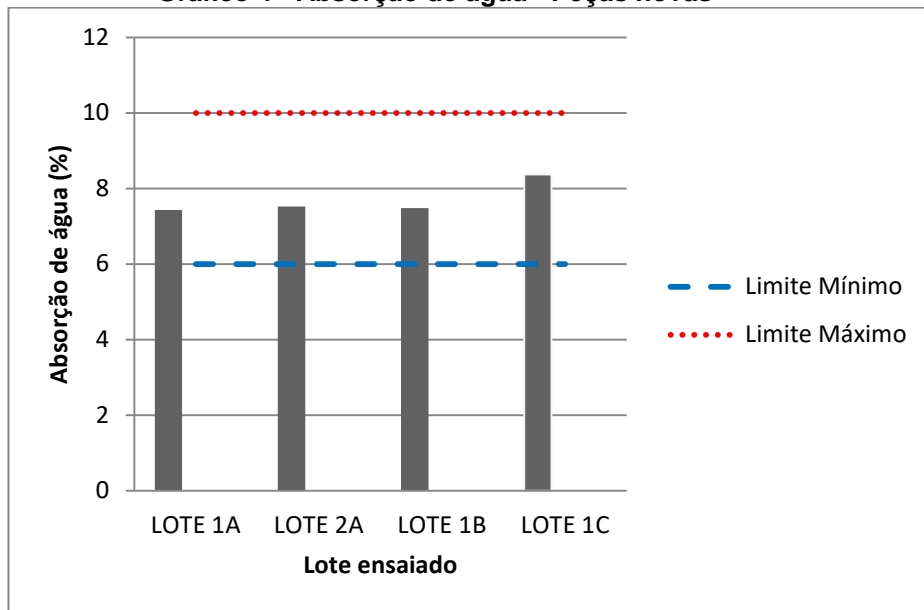
As peças utilizadas e retiradas da Obra C foram também ensaiadas em dois lotes, sendo o Lote 1 composto por peças novas, e o Lote 2 composto por peças já usadas. A diferença entre os valores de absorção obtidos para os dois lotes foi de aproximadamente 1,5%, conforme representando no gráfico abaixo.



É possível fazer uma comparação entre todos os lotes, de acordo com o estado em que se encontram as peças ensaiadas, ou seja, analisando todas as peças novas de uma vez, e da mesma forma, as peças usadas em um mesmo conjunto.

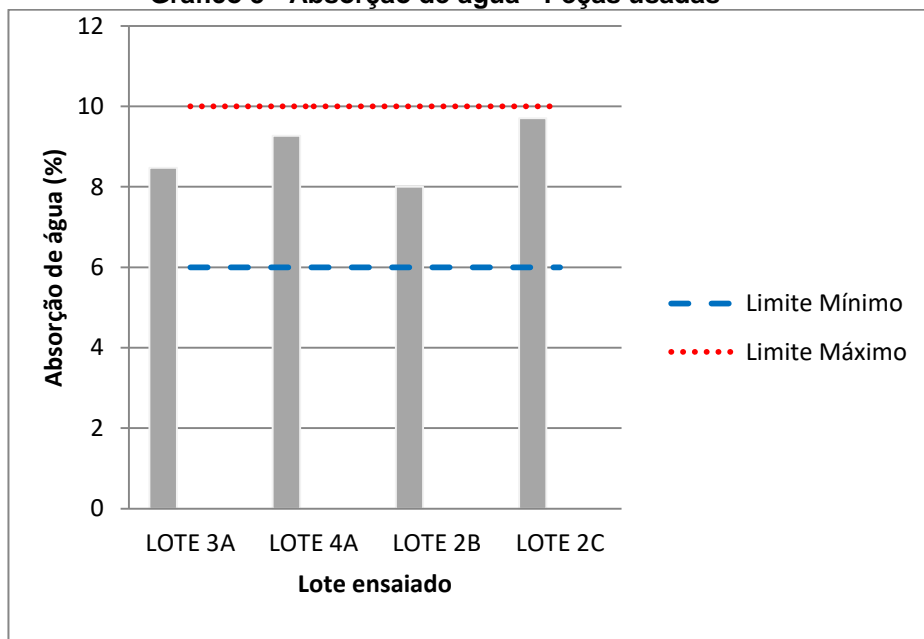
Essas comparações são apresentadas nos gráficos a seguir.

Gráfico 4 - Absorção de água - Peças novas



FONTE: Autora

Gráfico 5 - Absorção de água - Peças usadas



FONTE: Autora

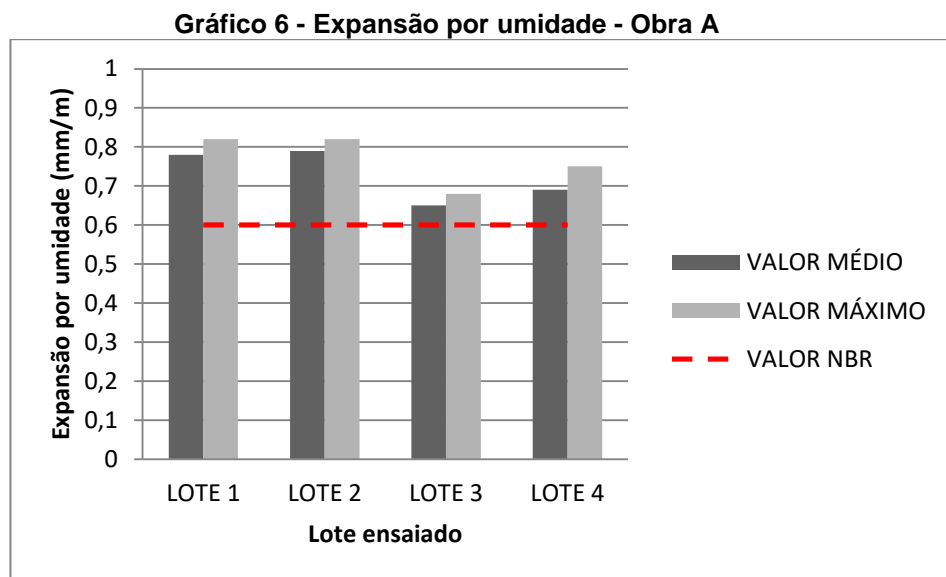
5.2. Ensaio de expansão por umidade

Os ensaios de expansão por umidade contam com relatórios de dois laboratórios diferentes, como citado anteriormente, porém é importante ressaltar que apenas as peças referentes a Obra A foram ensaiadas nos dois laboratórios.

5.2.1. Centro Tecnológico L.A. Falcão Bauer

A análise dos ensaios de expansão por umidade das placas inicia-se pelos lotes correspondentes a Obra A. As placas cerâmicas referentes a esta obra foram ensaiadas em quatro lotes distintos, sendo que os Lotes 1 e 2, que representam as peças novas para uso nesta obra apresentaram valores entre 0,65 e 0,70% de expansão, enquanto que os Lotes 3 e 4, que representam as placas já usadas apresentaram resultados entre 0,75 e 0,80%.

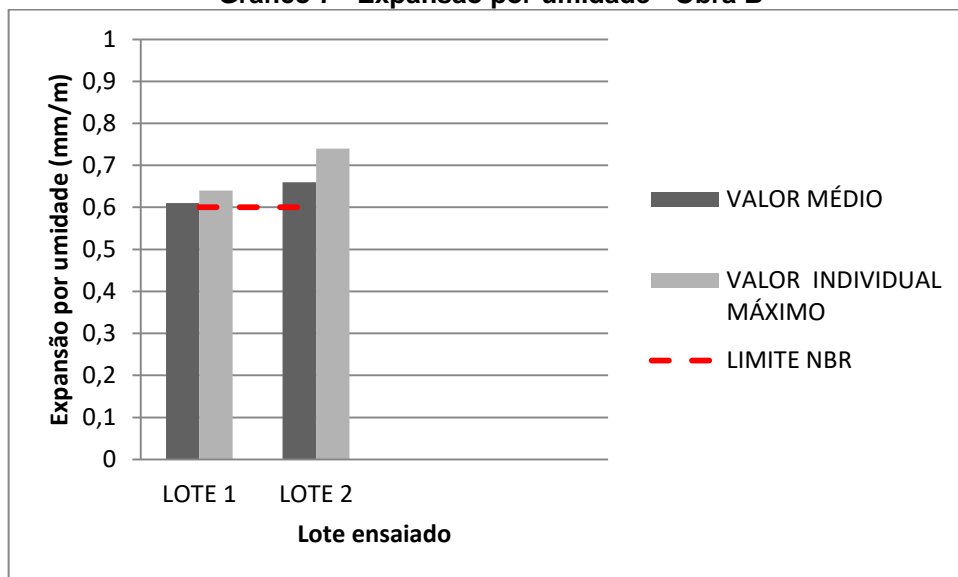
O gráfico a seguir mostra os resultados dos valores médios e máximos para cada lote ensaiado, além de especificar o limite permitido pela NBR 13818/97.



FONTE: Autora

Na Obra B, cujos ensaios foram realizados com dois lotes distintos apenas, um com peças novas e outro com peças usadas, os valores médios e máximos ficaram próximos, com exceção do máximo valor encontrado para o Lote 2, como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico 7 - Expansão por umidade - Obra B

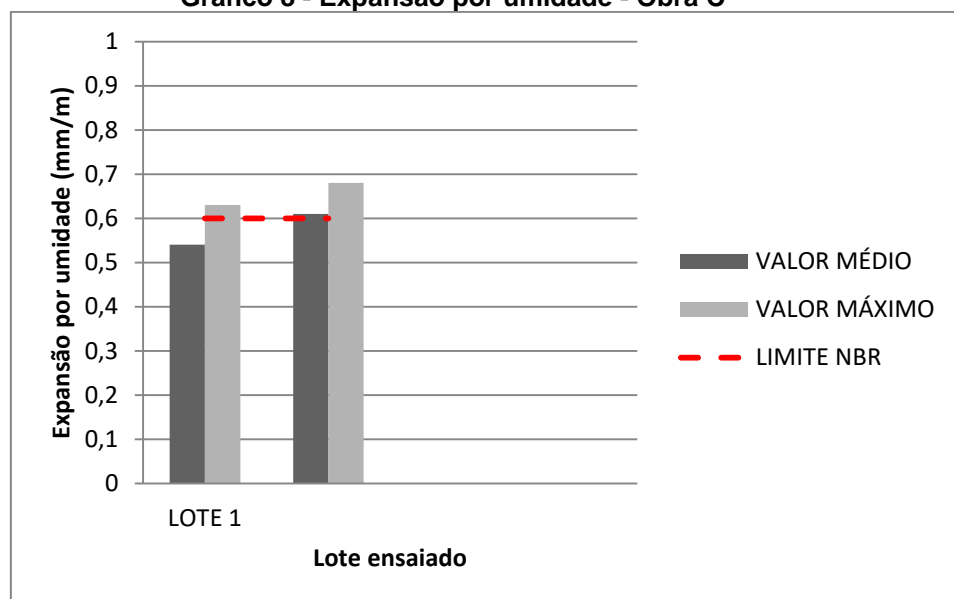


FONTE: Autora

As peças relativas a Obra C também foram ensaiadas em dois lotes distintos, um contendo peças novas, e o outro contendo peças usadas. A tabela a seguir mostra os valores médios e máximos obtidos para estes lotes nos ensaios de expansão por umidade.

Observa-se que o conjunto desta obra foi o que se encontrou mais próximo ao valor de expansão permitido pela NBR 13818/97, que é de 0,6%, conforme mostra o gráfico abaixo.

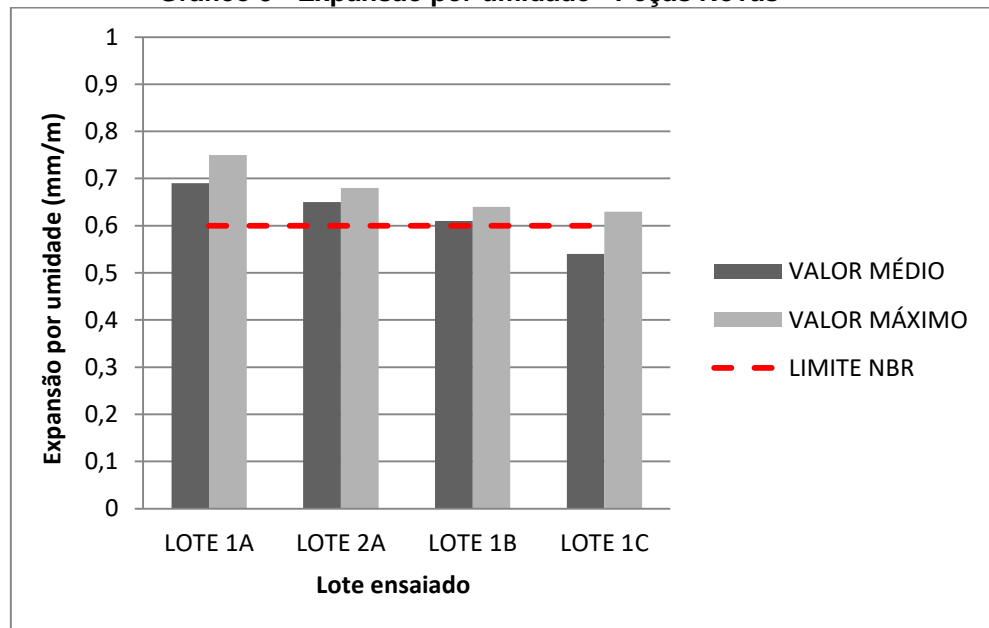
Gráfico 8 - Expansão por umidade - Obra C



FONTE: Autora

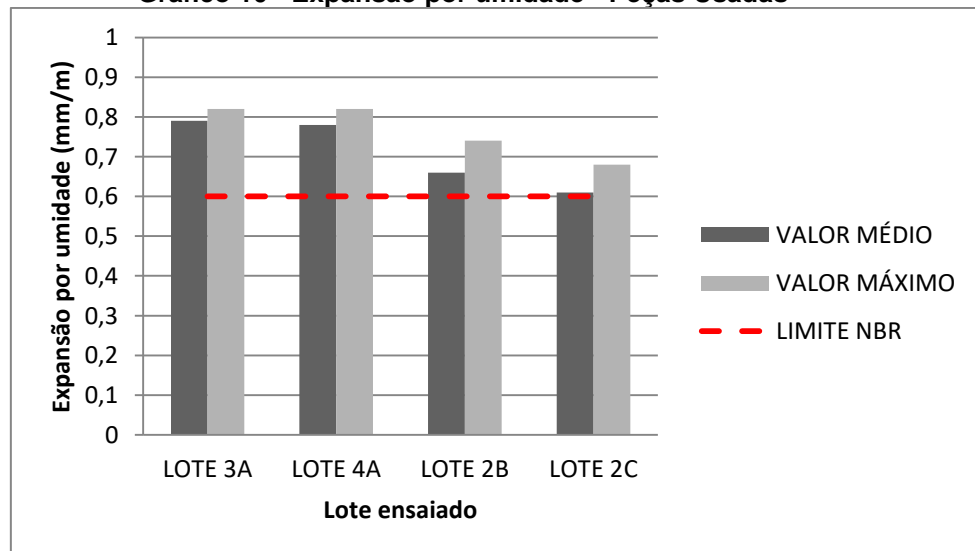
Assim como nos ensaios de absorção de água, os ensaios de expansão por umidade também podem ser comparados de acordo com o estado em que se encontravam as placas no momento em que foram ensaiadas. Desta forma, os gráficos a seguir representam, respectivamente, os resultados obtidos nos ensaios com peças novas de maneira geral, e os resultados obtidos nos ensaios com peças usadas, também em um mesmo conjunto.

Gráfico 9 - Expansão por umidade - Peças Novas



FONTE: Autora

Gráfico 10 - Expansão por umidade - Peças Usadas



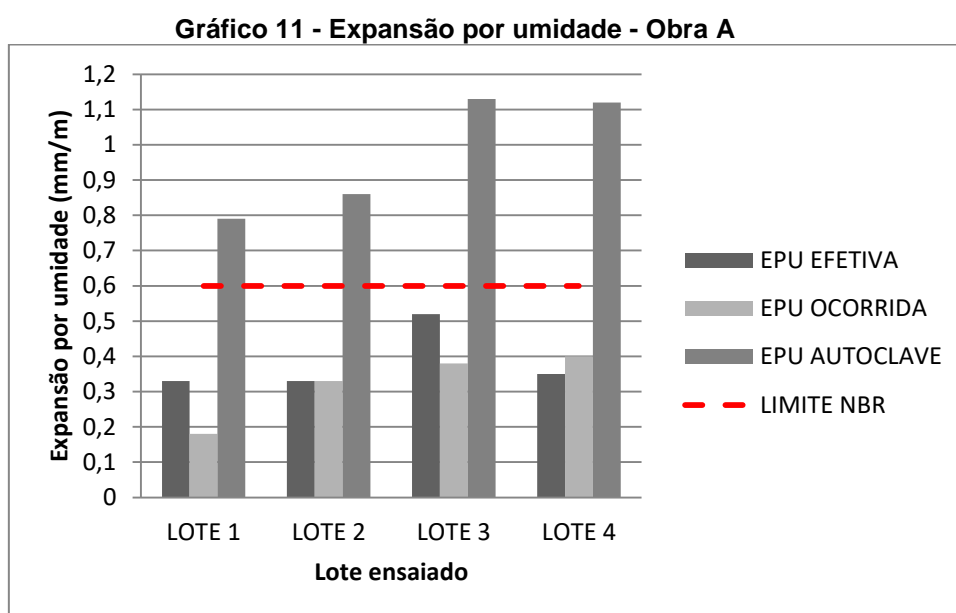
FONTE: Autora

5.2.2. Laboratório de Materiais de Construção Civil – IPT

Os ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT representam duas obras, sendo uma delas já citada neste trabalho, denominada Obra A, e a outra uma obra a parte, denominada de Obra D.

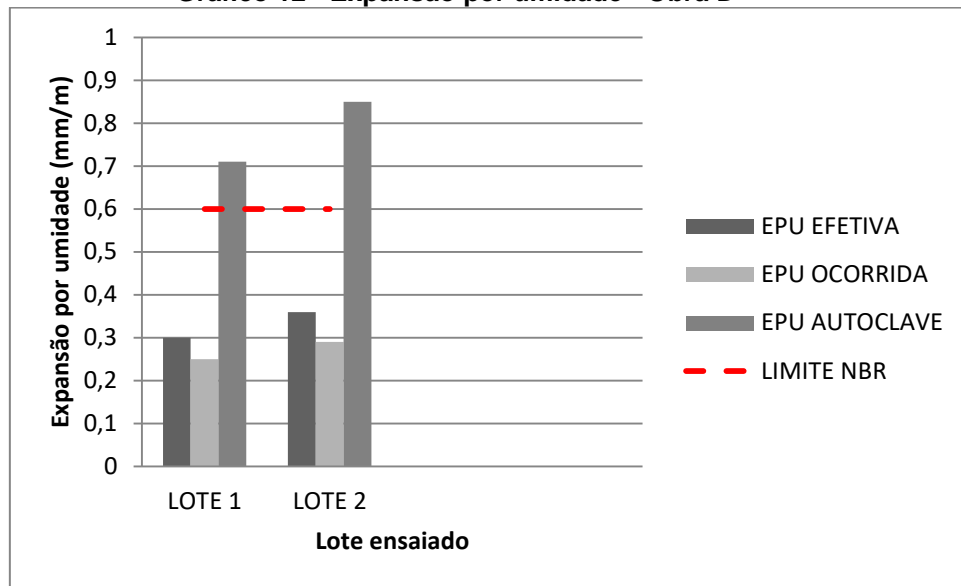
Para cada lote em estudo foram ensaiados seis corpos de prova. É importante salientar que neste laboratório foram medidos três valores de expansão para cada peça, a saber: expansão por umidade efetiva, a expansão ocorrida imediatamente após a saída do forno, e a expansão pelo método de fervura com tratamento em autoclave.

Os primeiros valores apresentados representam os lotes referentes a Obra A; os resultados encontrados para os Lotes 1 e 2, que representam as peças novas ficaram entre 0,18 e 0,90 mm/m, enquanto que os Lotes 3 e 4, que continham as peças usadas tiveram valores entre 0,35 e 1,12 mm/m, valores estes que se mostram muito acima do limite estabelecido em Norma. O gráfico abaixo expressa todos os valores médios encontrados nos ensaios.



A Obra D foi ensaiada em dois lotes de peças, um contendo placas novas, e o outro com peças usadas. O Lote 1 representa as peças novas, e teve valores de expansão entre 0,25 e 0,71 mm/m, enquanto que o Lote 2, representando as peças usadas, apresentou valores médios entre 0,29 e 0,85 mm/m, conforme o gráfico a seguir.

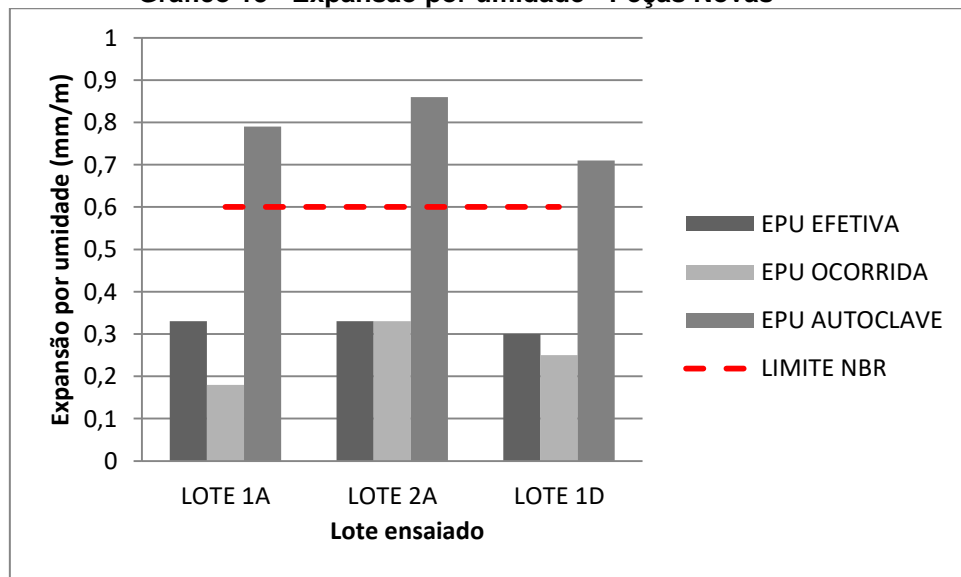
Gráfico 12 - Expansão por umidade - Obra D



FONTE: Autora

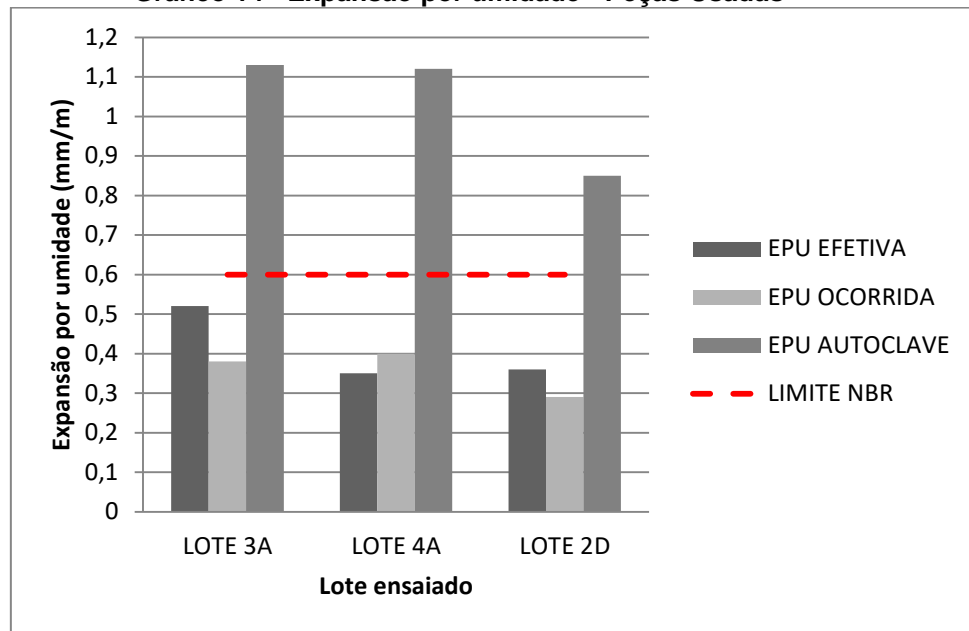
É possível fazer comparações entre os resultados de todas as peças novas, bem como entre as peças usadas, a fim de observar os padrões que vem ocorrendo em cada ensaio. Os gráficos abaixo permitem visualizar o comportamento das placas.

Gráfico 13 - Expansão por umidade - Peças Novas



FONTE: Autora

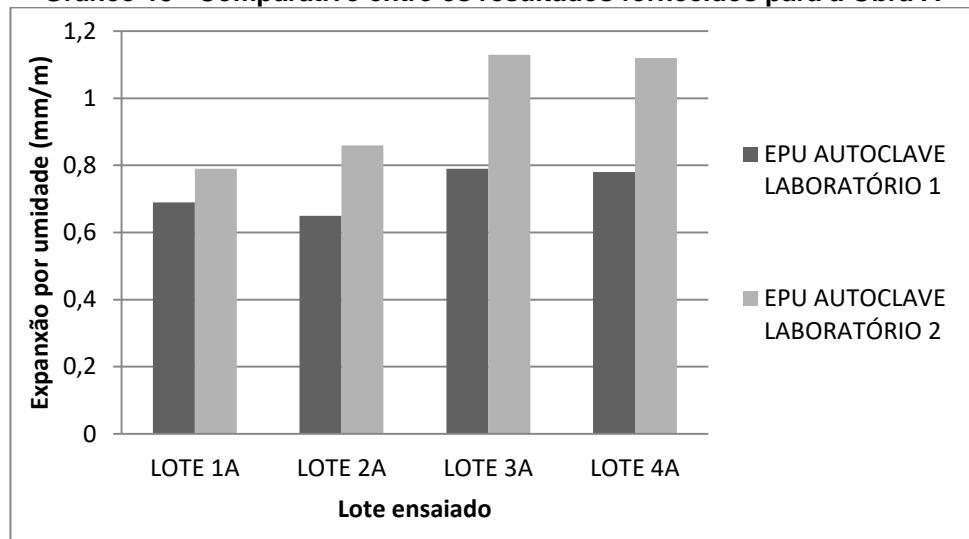
Gráfico 14 - Expansão por umidade - Peças Usadas



FONTE: Autora

Por fim, foi feita uma comparação entre os resultados fornecidos para os dois laboratórios para as peças ensaiadas da Obra A, a qual mostrou a grande diferença entre os dois ensaios realizados pelo mesmo método, de autoclave.

Gráfico 15 - Comparativo entre os resultados fornecidos para a Obra A



FONTE: Autora

5.3. Análise de imagens

As análises deste capítulo são referentes a imagens fotografadas em obras onde ocorreu a patologia em estudo, descolamento da placa cerâmica, embasadas

por reportagens e notas explicativas provenientes de empresas fabricantes de cerâmica, com o mesmo intuito de demonstrar a real causa do descolamento.

A análise em questão parte de uma reportagem publicada na revista *Téchne*, em julho de 2017. Esta reportagem aborda o tema dos meios de produção das placas cerâmicas que são usadas na indústria brasileira, cujos processos são conhecidos como via seca e via úmida. A via seca vem sendo empregada em larga escala em todo o país, sendo responsável por cerca de 70% de toda a produção. A patologia é comumente associada a esse método de produção devido ao fato de que durante esse processo, não é adicionada nenhuma quantidade de água para a moagem dos materiais, o que supostamente causaria uma falta de aderência entre os componentes da placa, fazendo com que a expansão por umidade desta torne-se motivo de preocupação.

Entretanto, não se pode excluir totalmente o fator da mão-de-obra, ou seja, os revestimentos podem estar executados de maneira errônea, causando o descolamento da placa.

Para iniciar a análise da mão-de-obra na execução de revestimento cerâmico, é importante salientar a recomendação da NBR 13818/97, no que diz respeito a relação entre a expansão por umidade e a mão-de-obra:

“A maioria das placas cerâmicas, esmaltadas ou não, tem expansão por umidade negligenciável, a qual não contribui para os problemas dos revestimentos cerâmicos quando são corretamente fixados (instalados), porém, com práticas de assentamento insatisfatórias ou em certas condições climáticas, a expansão por umidade acima de 0,6 mm/m pode contribuir para o descolamento de revestimentos cerâmicos”. (ABNT NBR 13818/97)

A partir disso, é possível verificar algumas condições de assentamento dos revestimentos cerâmicos que sofreram a patologia, que podem estar contribuindo para o problema, como por exemplo, a solicitação determinada em norma para o método da dupla colagem da placa cerâmica ao substrato, exigida para peças de grandes dimensões, além do esmagamento dos cordões de argamassa. Este procedimento é citado na NBR 13753/96 – Revestimento de piso cerâmico interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimentos.

Figura 21 - Superfície de aplicação do revestimento descolado



FONTE: Autora

A figura acima mostra uma superfície onde foi aplicado um revestimento cerâmico, mostrando que a argamassa utilizada permaneceu colada ao substrato em sua quase totalidade, ou seja, a peça não aderiu a argamassa, como é possível ver na figura a seguir, que mostra a placa cerâmica totalmente “limpa”, sem vestígios de argamassa em sua superfície.

Figura 22 - Placa cerâmica descolada da superfície de aplicação



FONTE: Autora

É possível que isto ocorra devido ao fato de não haver a execução da dupla colagem, fato que não permite a superfície da peça sofrer a aderência necessária para manter-se colada.

Outro ponto ressaltado na reportagem em questão é de que em alguns casos de peças analisadas pelo Centro de Revestimentos Cerâmicos (CRC) em parceria com a Universidade Federal de São Carlos – SP e ANFACER, o revestimento é assentado diretamente sobre a estrutura. Desta forma, são excluídas da execução do revestimento as camadas de chapisco, emboço e reboco, etapas essas fundamentais para a boa aderência e bom desempenho do material utilizado.

6. CONCLUSÃO

Ao analisar os relatórios de ensaios de absorção de água e expansão por umidade fornecidos pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Buaer, é possível perceber que, no que diz respeito a absorção de água, todas as peças encontram-se dentro do grupo de absorção BIIb, classificadas como semi-porosas, com grau de resistência médio.

Com relação aos resultados encontrados nos ensaios de expansão por umidade, é importante salientar que o Anexo J da NBR 13818 determina que o ensaio seja realizado da seguinte forma: as peças devem ser requemadas em mufla a temperatura de 550 °C durante 2 horas e medidas as dimensões; após este processo, devem ser colocadas em água fervente por 24 horas, sendo novamente medidas após resfriadas. No entanto, as placas foram medidas e colocadas dentro da autoclave, mantidos a uma pressão a 5 atm (506625 Pa) durante duas horas, processo recomendado pela norma ASTM C 370 (ASTM, 1970). Com base nisso, e de acordo com uma pesquisa realizada pelo próprio Centro Tecnológico, é possível perceber que o tempo de hidratação das peças em autoclave pode ter influenciado nos valores de expansão obtidos nos ensaios, uma vez que é um equipamento de hidratação acelerada do corpo de prova, que busca justamente encontrar as piores situações de expansão para uma placa cerâmica. Neste sentido, faz-se importante um estudo com peças em condições reais de aplicação, a fim de verificar se os valores de expansão produzidos em autoclave não são exagerados, quando comparados a expansão real das peças.

Os ensaios de expansão realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT – São Paulo foram realizados utilizando tanto o método de fervura como o tratamento em autoclave; este último, por sua vez, foi o que apresentou os maiores resultados de expansão por umidade, o que reforça mais uma vez que os valores encontrados na expansão por autoclave podem estar ligeiramente fora da realidade de peças que são realmente utilizadas.

É possível estabelecer uma relação entre a absorção de água e a expansão por umidade do corpo cerâmico, uma vez que a absorção é a quantidade de água que uma placa cerâmica retém após determinado tempo de imersão. Entretanto, os ensaios realizados no Centro Tecnológico Falcão Bauer mostram que essa relação não pode ser generalizada para todo tipo de placa, ou seja, não há um padrão, pois

cada caso deve ser estudado em separado, levando em conta condições como a composição de cada peça. Ainda assim, é possível concluir que uma menor acessibilidade da água na placa cerâmica pode contribuir para valores mais baixos de EPU.

Foi possível observar nas imagens apresentadas, e após um estudo da norma no que diz respeito à aplicação de revestimento cerâmico, que parte dos descolamentos sofridos nas obras atualmente pode estar ocorrendo devido a uma ineficiência na mão-de-obra, pois a aplicação não vem sendo efetuada como recomendado, com dupla colagem e respeitando todas as camadas do revestimento. Entretanto, esta conclusão também não pode ser generalizada. A explicação mais plausível para estas ocorrências é de fato o processo de produção via seca, uma vez que as placas que vem descolando são, em sua totalidade, provenientes deste método de produção. Isso pode ser explicado, principalmente, como já citado anteriormente, pela não adição de água na mistura dos componentes no processo via seca. Este fato pode fazer com que a peça não tenha aderência suficiente, fazendo com que, ao sofrer qualquer tipo de contato com a umidade, apresente um grau elevado de expansão. Já na via úmida, as matérias-primas moídas e homogeneizadas com adição de água permitem uma melhor reação e interação entre todas as partes. Além disso, a cerâmica produzida por via seca trabalha muito mais que a via úmida depois de assentada, ou seja, quando instalada sobre a argamassa, ela permanece agindo, e são essas movimentações que podem causar o descolamento da placa devido a sua instabilidade. Pode-se concluir, portanto, que a placa cerâmica produzida por via úmida é um material muito mais estável que a via seca.

Por fim, é importante ressaltar que a EPU de peças cerâmicas não é necessariamente um fenômeno que conduza a falhas e danos, pois existe uma grande margem de segurança que varia de projeto para projeto.

Como recomendação e sugestão para trabalhos futuros, pode ser recomendado o ensaio de expansão por umidade com medidas efetuadas com dilatômetro, que é um equipamento com medidas mais precisas para este fim.

7. ANEXOS

ANEXO A – ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA – OBRA A

Lote 1 - Peças novas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	6,68	7,43
02	7,76	
03	7,51	
04	7,62	
05	7,57	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

Lote 2 - Peças novas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	7,16	7,52
02	7,52	
03	7,45	
04	7,65	
05	7,80	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

Lote 3 – Peças usadas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	7,03	8,47
02	8,68	
03	9,60	
04	9,27	
05	7,77	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

Lote 4 – Peças usadas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	9,28	9,27
02	9,19	
03	9,01	
04	9,52	
05	9,36	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

ANEXO B – ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA – OBRA B

Lote 1 – Peças novas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	7,12	7,48
02	7,28	
03	7,35	
04	7,82	
05	7,83	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

Lote 2 – Peças usadas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	8,45	8,00
02	7,70	
03	8,08	
04	8,00	
05	7,78	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

ANEXO C – ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA – OBRA C

Lote 1 – Peças novas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	8,88	8,37
02	8,13	
03	8,43	
04	8,50	
05	7,92	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

Lote 2 – Peças usadas

CP Nº	Absorção (%)	
	Individual	Valor médio
01	9,16	9,71
02	9,06	
03	10,3	
04	9,33	
05	10,73	
Requisito NBR 13.818/ 97 Grupo de absorção BIIb		6% < Abs ≤ 10%

ANEXO D – ENSAIOS DE EXPANSÃO POR UMIDADE – OBRA A (FALCÃO BAUER)

Lote 1 - Peças novas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,065	0,65
02	0,068	0,68
03	0,066	0,66
04	0,072	0,72
05	0,075	0,75
Média	0,069	0,69
Máximo	0,075	0,75

Lote 2 - Peças novas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,062	0,62
02	0,068	0,68
03	0,062	0,62
04	0,065	0,65
05	0,067	0,67
Média	0,065	0,65
Máximo	0,068	0,68

Lote 3 – Peças usadas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,079	0,79
02	0,073	0,73
03	0,082	0,82
04	0,079	0,79
05	0,082	0,82
Média	0,079	0,79
Máximo	0,082	0,82

Lote 4 – Peças usadas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,082	0,82
02	0,067	0,67
03	0,081	0,81
04	0,080	0,80
05	0,081	0,81
Média	0,078	0,78
Máximo	0,082	0,82

FONTE: Centro Tecnológico de Controle de Qualidade L.A. Falcão Bauer

ANEXO E – ENSAIOS DE EXPANSÃO POR UMIDADE – OBRA B (FALCÃO BAUER)

Lote 1 – Peças novas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,064	0,64
02	0,051	0,51
03	0,064	0,64
04	0,062	0,62
05	0,064	0,64
Média	0,061	0,61
Máximo	0,064	0,64

Lote 2 – Peças usadas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,063	0,63
02	0,072	0,72
03	0,067	0,67
04	0,074	0,74
05	0,055	0,55
Média	0,066	0,66
Máximo	0,074	0,74

ANEXO F – ENSAIOS DE EXPANSÃO POR UMIDADE – OBRA C (FALCÃO BAUER)

Lote 1 – Peças novas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,057	0,57
02	0,051	0,51
03	0,049	0,49
04	0,051	0,51
05	0,063	0,63
Média	0,054	0,54
Máximo	0,063	0,63

Lote 2 – Peças usadas

CP Nº	Expansão por umidade	
	Expansão (%)	Expansão (mm/m)
01	0,055	0,55
02	0,068	0,68
03	0,060	0,60
04	0,065	0,65
05	0,055	0,55
Média	0,061	0,61
Máximo	0,068	0,68

**ANEXO G – ENSAIOS DE EXPANSÃO POR UMIDADE – OBRA A
(LMCC – IPT SÃO PAULO)**

Lote 1 – Peças novas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,31	0,33	0,30	0,29	0,37	0,37	0,33
Ocorrida	0,19	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,18
Fervura + autoclave	0,82	0,80	0,73	0,72	0,90	0,89	0,79

Lote 2 – Peças novas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,37	0,35	0,31	0,37	0,32	0,27	0,33
Ocorrida	0,34	0,31	0,32	0,34	0,32	0,32	0,33
Fervura + autoclave	0,91	0,85	0,82	0,91	0,81	0,79	0,86

Lote 3 – Peças usadas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,55	0,52	0,49	0,50	0,51	0,56	0,52
Ocorrida	0,32	0,39	0,38	0,39	0,38	0,41	0,38
Fervura + autoclave	1,17	1,15	1,08	1,13	1,11	1,22	1,13

Lote 4 – Peças usadas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,43	0,44	0,32	0,36	0,26	0,31	0,35
Ocorrida	0,40	0,41	0,40	0,39	0,41	0,37	0,40
Fervura + autoclave	1,15	1,10	1,13	1,12	1,12	1,09	1,12

**ANEXO H – ENSAIOS DE EXPANSÃO POR UMIDADE – OBRA D
(LMCC – IPT SÃO PAULO)**

Lote 1 – Peças novas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,37	0,38	0,34	0,34	0,38	0,36	0,36
Ocorrida	0,30	0,32	0,25	0,31	0,29	0,26	0,29
Fervura + autoclave	0,88	0,88	0,79	0,81	0,89	0,87	0,85

Lote 4 – Peças usadas

Expansão por umidade (mm/m)							
EPU	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
Efetiva	0,33	0,27	0,24	0,32	0,31	0,32	0,30
Ocorrida	0,28	0,23	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25
Fervura + autoclave	0,78	0,64	0,60	0,77	0,75	0,76	0,71

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13816. **Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. NBR 13817. **Placas cerâmicas para revestimento – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. NBR 13818. **Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. NBR 14081. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NBR 14992. **Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

A expansão por umidade (EPU) revisitada, 20 anos depois: Convivendo com a inevitabilidade da EPU (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/279245075_A_expansao_por_umidade_EP_U_revisitada_20_anos_depois_Convivendo_com_a_inevitabilidade_da_EPU [accessed Oct 21 2017].

ALVES, José Dafico. **Materiais de Construção**. 5 ed. rev. São Paulo: Nobel, 1980. 2 v.

ALVES, José Dafico. **Materiais de Construção**. 5 ed. São Paulo: Nobel, 1978. 2 v. Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM. Disponível em <http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica – ANFACER. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; CAMPANTE, Edmilson Freitas. **Projeto e Execução de Revestimento Cerâmico**. 2 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. 2ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001.

BARBOSA, Nathália. O pato a ser pago. **TÉCHNE, A revista do Engenheiro Civil**, n 234, p 18-26, set/2016.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 2 v.

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

CENTRO TECNOLÓGICO DE CONTROLE DE QUALIDADE L.A. FALCÃO BAUER. **Relatórios de Ensaio**. São Paulo, 2016.

Fórum da Construção – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura (IBDA). Disponível em <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17&Cod=2034>>

Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Carlos. Disponível em <http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/quiaceramica-completo/03/content/030102_metodo_argamassa_colante.htm>

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PESQUISA. Laboratório de Materiais de Construção Civil. **Relatórios de Ensaio**. São Paulo, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTZATION. ISO 13006:2012. **Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking**.

Laboratório de Cerâmica Artística a Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – LACAD. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/lacad/queima.html>>

MENEZES, Romualdo Rodrigues; CAMPOS, Lizabetha Fernanda; FERREIRA, Helaine Sivini; FERREIRA, Heber Carlos. Expansão por Umidade: Metodologia para sua Avaliação e Estudo de Casos. **Revista Cerâmica Industrial**, n 10, p 27-33, mar/abr de 2005.

MOTTA, J. F. M. et al. As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 1, p. 33-40, jan/fev, 2002.

PATTON, William John. **Materiais de Construção para Engenharia Civil**. São Paulo: EDU/EDUSP, 1978.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião. **Materiais de Construção**. 11 ed. São Paulo: Globo, 1998. 435 p.

PROENÇA, Graça. **A História da Arte**. 16 ed. Editora Ática, 2000.

SUIDUSCON/SEBRAE. **Qualidade na Aquisição de Materiais e Execução de Obras**. Editora PIERI 1996.

SYMANSKI, Rosa. Cerâmica via seca pode ser a causa do deslocamento. **Revista Construção Mercado**, n 185, p 22-25, dez/2016.