



Adição de fibras de papel kraft e resíduo de gesso moído em argamassas para assentamento

SILVA, I. A. C.; SARMENTO, A. P.

Universidade Federal de Catalão - UFCAT

Palavras-chave: gesso reciclado, embalagem de cimento, argamassa com fibra

Resumo

Essa pesquisa teve por objetivo estudar a viabilidade da utilização de resíduos na produção de argamassa de assentamento, utilizando-se fibras do papel Kraft (com teores de substituição de areia por fibras de 2,5% e 5%), de sacos de cimento descartados, e adicionando-se resíduo de gesso moído como aglomerante (nas proporções de cimento:gesso de 1:1 e 1:2). Foram realizados a caracterização dos resíduos e ensaios de densidade de massa nas argamassas frescas e endurecidas, consistência, resistência à tração e à compressão e absorção. Observou-se um acréscimo no consumo de água e na absorção por capilaridade e diminuição nos demais parâmetros. Além disso, observou-se que as argamassas com fibras tiveram uma redução expressiva na abertura de fissuras. Comprovou-se que as argamassas com resíduos ainda podem ser utilizadas como argamassas de fixação horizontal de alvenaria (encunhamento).

Addition of kraft paper fibers and recycled plaster in mortars

Keywords: recycled plaster, cement packaging, mortar with fiber

Abstract

This research aimed to study the feasibility of using waste in the production of laying mortar, using Kraft paper fibers (with sand replacement levels for fibers of 2.5% and 5%) of discarded cement bags, and adding ground gypsum residue as a binder (in cement:gypsum proportions of 1:1 and 1:2). Waste characterization and mass density tests on fresh and hardened mortars, consistency, tensile and compression strength and absorption were carried out. It was observed an increase in water consumption and absorption by capillarity and a decrease in other parameters. Furthermore, it was observed that mortars with fibers had a significant reduction in crack opening. It was proven that mortars with residue can still be used as mortars for horizontal fixing of masonry.

INTRODUÇÃO

A Resolução CONAMA nº 307 define que os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e escavação de terrenos, descartes usualmente chamados de entulhos (Brasil, 2002). Na tentativa de diminuir o impacto causado pela construção civil, diversos estudos sobre a inclusão do RCD (Resíduos de Construção e Demolição) na cadeia produtiva de novos materiais vêm sendo feitos.

Contudo, a viabilidade da utilização de resíduos depende da sua disponibilidade em um dado local, sendo que a composição do RCD é consequência principalmente da técnica construtiva empregada em cada região. Como no Brasil há a predominância de obras de concreto, os materiais utilizados na sua produção são amplamente consumidos em todo o país e consequentemente, responsáveis por uma parcela significativa de produção de resíduos. Dentre esses materiais, destaca-se o cimento.

De forma similar, o gesso é um material muito utilizado em construções no Brasil, principalmente para a execução

de forros, revestimentos de parede e chapas. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (ABFCD, 2009), o gesso ganhou impulso a partir da década de 1990, com a introdução da técnica drywall nas construções do Brasil. Além disso, o volume de gesso utilizado em obras é consequência dos diversos usos que esse material possui, podendo ser aplicado como sancas ou molduras, rodapés e diversas peças de acabamento, além de ser aplicado diretamente nas paredes, como revestimento.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi desenvolver traços para argamassas de assentamento com a utilização de resíduo de gesso moído e fibras naturais provenientes do papel Kraft de embalagens de cimento. Para tanto foi necessário preparar e caracterizar as fibras de papel Kraft obtidas a partir das embalagens de cimento descartadas em obras, preparar e caracterizar os resíduos de gesso obtidos de gesseiros, realizar a caracterização física do agregado utilizado e verificar as características físicas e mecânicas das argamassas frescas e endurecidas produzidas com a utilização dos resíduos.

REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização de materiais reciclados na construção civil está sendo cada vez mais estudada no meio, na tentativa de reduzir os impactos ambientais causados por essa área pois, ao adicionar esses resíduos na cadeia produtiva de novos materiais, há a diminuição do consumo de matéria-prima e também a redução de descarte de resíduos. A utilização dos resíduos de cerâmicas vermelhas se mostrou possível em argamassas (Pinz *et al.*, 2021) e concretos autoadensáveis de alta resistência (Santos *et al.*, 2018), por exemplo. Em pavimentos, o uso de resíduos de concreto tem sido amplamente estudado, mostrando grande potencial de utilização em concretos permeáveis (Paula Júnior *et al.*, 2021). A aplicação de resíduos de rochas ornamentais, material muito utilizado em construções no Brasil, também vêm ganhando destaque em pesquisas, se mostrando eficaz como substituto parcial do cimento (Teixeira *et al.*, 2020), por exemplo.

Se tratando dos sacos de cimento, algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para estudar a viabilidade da utilização dessas embalagens na produção de novos materiais de construção, uma vez que é gerado um grande volume

de sacos de cimento descartados nas obras brasileiras.

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2024), em 2023 houve a venda de cerca de 66,46 milhões de toneladas de cimento no Brasil, sendo que 58,73% desse total foi despachado em forma ensacada. Sabendo-se que o cimento é comercializado normalmente em embalagens de 50 kg, e que cada saco pesa entre 75 e 150 g, considerando os dados fornecidos pelos SNIC, estima-se, em média, uma geração de 87.825 t/ano de embalagens de cimento. De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (Brasil, 2002), os materiais de papel/papelão descartados em obras são de classe B e poderiam ser reciclados, devendo ser encaminhados às áreas de armazenamento temporário. Entretanto, algumas empresas de reciclagem rejeitam as embalagens de cimento por conterem restos desse material. Portanto, a utilização das embalagens nos próprios materiais de construção pode ser uma solução para uma destinação viável desse material.

Buson (2009) analisou a interferência das fibras do papel Kraft das embalagens de cimento na fabricação de Blocos de Terra

Compactados (BTC's) e argamassa para assentamento. Segundo o autor, o uso desse compósito nos blocos e nas argamassas de assentamento proporcionou um aumento na capacidade das paredes de resistir aos esforços de compressão simples e tração transversal, mesmo após a tensão máxima de ruptura ter sido atingida e o material ter sofrido grandes esmagamentos.

Novais e Freitas (2024) também avaliaram o impacto da adição de sacos de cimento na fabricação de tijolos ecológicos e perceberam que a adição das fibras gerou tijolos com coloração mais clara e textura mais lisa, além de diminuir a densidade dos blocos.

Alves (2016) estudou a influência da adição das fibras do papel Kraft nas características de blocos de concreto não estruturais. A autora observou que adição de fibras colabora para o aumento da absorção de água dos blocos e diminuição da resistência à compressão. Entretanto foi possível produzir blocos que atendessem a exigência normativa com uma adição de 0,5% de fibra em relação à massa seca.

Santos e Carvalho (2011) fabricaram três traços de

argamassa de cimento e areia, sendo eles: com adição de 5% e 10% de fibras em relação a massa de aglomerante e substituição de 10% (em relação à massa do aglomerante) de areia por fibras. Os autores relataram que a adição da fibra de papel kraft provenientes de embalagens de cimento reduziu a resistência à tração e compressão da argamassa pura. Porém, ao analisar a resistência das paredes construídas com juntas de argamassa com resíduos, percebeu-se que não houve grandes variações nos resultados, sendo que o traço com substituição 10% de areia por fibra gerou um acréscimo da resistência à tração das paredes e a resistência à compressão se assemelhou ao traço de referência.

Morais *et al.* (2022) também investigaram o reforço de argamassas com fibras de papel kraft de embalagens de cimento. Os autores relataram que, de modo geral, a presença das fibras diminui a trabalhabilidade da argamassa, bem como seu desempenho mecânico. Entretanto, foi possível considerar que o traço com adição de 0,5% de fibras foi satisfatório, principalmente quando se deseja dar uma destinação

ambientalmente adequada para o resíduo.

Alguns autores relataram ainda que não há relação linear entre a resistência da argamassa e a resistência dos prismas moldados com ela. Segundo Valle (2008), uma redução de 80% da resistência da argamassa leva à uma redução de somente 20% da resistência das paredes assentadas. Contudo, apesar de todas as vantagens citadas, a produção de compósitos cimentícios com fibras naturais ainda é limitada devido à resistência desse material em longo prazo (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015).

O gesso também é um material amplamente utilizado nas obras brasileiras e com potencial de causar impactos ao meio ambiente. Segundo Munhoz (2008), cerca de 35% do gesso de revestimento produzido no setor da construção é descartado. Com a Resolução CONAMA nº 431 (Brasil, 2011), esse material passou a ser considerado de classe B, passível de ser reciclado. Contudo, a destinação final desse resíduo continua sendo um problema, uma vez que são raras as áreas de transbordo e triagem e quase não existem usinas de reciclagem para o gesso (Pinheiro,

2011).

Quando dispostos em lixões, lotes baldios ou aterros, esses resíduos alteram a alcalinidade do solo e contaminam o lençol freático (Nascimento; Pimentel, 2010). Segundo Munhoz e Renofio (2007), o gesso em contato com a umidade e em condições presentes em aterros (condições anaeróbias, com baixo pH e sob ação de bactérias redutoras de sulfato) pode ainda gerar gás sulfídrico (H_2S), que possui odor característico, é tóxico e inflamável. Nesse sentido, alguns estudos já foram desenvolvidos na tentativa de propor um método simples e viável para a reutilização do gesso descartado em obras.

Tavares *et al.* (2010) avaliaram a viabilidade da substituição do gesso comercial por gesso reciclado em argamassas de revestimento em proporções de 5 e 10%. Segundo os autores, as adições de resíduo não comprometeram seriamente a resistência à compressão, dureza superficial e resistência à aderência, sendo que essas características permaneceram dentro dos limites estabelecidos por normas. Camarini e Pinheiro (2014) concluíram que, apesar do gesso reciclado possuir menor granulometria e maior módulo de

finura, suas características químicas são similares ao gesso comercial, o que sugere que esse material possa ser reciclado.

Nascimento e Pimentel (2010) também mostraram que o gesso descartado, após passar por uma moagem e requeima em temperaturas de 160, 180 e 200 °C por seis horas, apresentaram características físicas e mecânicas que viabilizam sua utilização.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho se caracterizou por uma pesquisa quantitativa, que utilizou experimentos controlados para explicar os efeitos do uso de resíduos na produção de argamassas e buscou determinar sua viabilidade com base em resultados numéricos.

A metodologia se dividiu em cinco etapas principais, sendo elas: preparação, caracterização dos materiais, moldagem dos corpos de prova, realização de ensaios na argamassa fresca e realização de ensaios na argamassa endurecida. Todos os ensaios foram feitos baseados em normas brasileiras.

Preparação e caracterização de materiais

O agregado miúdo utilizado nesse trabalho foi a areia média, comumente empregada na

fabricação de argamassa de assentamento. A areia coletada era utilizada para a produção de argamassa de assentamento de blocos cerâmicos nas pequenas reformas, sendo armazenada sobre o solo e sem proteção de intempéries. A fim de retirar partículas maiores e sujeiras, esse material passou por uma peneira de abertura de 4,75 mm. Foi realizada sua classificação granulométrica de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), através do qual determinou-se o módulo de finura e coeficiente de continuidade, e determinação da massa unitária segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021).

O cimento escolhido para a produção das argamassas é o cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Esse material é muito utilizado na fabricação de pré-moldados e concretos protendidos, uma vez que permite a desforma rápida das peças com segurança e sem perdas. Por esse motivo, foi adotado para essa pesquisa.

O gesso utilizado é resíduo de fundição, descarte de peças de molduras e sancas ou restos de gesso que não foram utilizados, coletado na cidade de Catalão, em Goiás. Devido ao tamanho das peças descartadas, foi necessário triturá-las em um britador de

mandíbula, a fim de reduzir o seu tamanho para seguir para as próximas etapas. Como o material foi coletado na caçamba que se encontrava na rua e sem nenhuma proteção de intempéries, foi necessário retirar a sua umidade antes de continuar a preparação para evitar que o material aderisse nos aparelhos utilizados. Para tanto, foi colocado em uma estufa (da marca Nova Ética, modelo 402 – 5D) à uma temperatura de 150 °C por 24 horas. Por fim, seguiu para o moinho de bolas (marca Tecnal/Marconi, modelo TE 330), por 10 minutos, para se obter um material em forma de pó. Foi realizado um ensaio granulométrico, através do qual determinou-se o módulo de finura, e de massa unitária de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022).

Os sacos de cimento foram coletados em caçambas de descartes de obras em Catalão, Goiás. Depois de coletados, foram lavados para retirar os resíduos de cimento que possam ter ficado presos a eles. Ficaram imersos em água por 24 h para amolecer as fibras e posteriormente foram fragmentados manualmente. Em seguida, o material foi triturado em um liquidificador industrial (marca Vitalex, modelo LQI25) até

obter a consistência de polpa, sendo adicionados 1250 ml de água para cada 100 g de papel. É importante ressaltar que a água utilizada para amolecer o papel foi reaproveitada para bater os sacos de cimento por várias vezes. Como não há a utilização de nenhum produto químico no processo de obtenção de polpa, não há problema em reutilizá-la para evitar desperdícios. Para a retirada do excesso de água, a polpa foi torcida manualmente em um tecido de algodão e posteriormente dispersada com a ajuda de um liquidificador doméstico, até as fibras ficarem soltas e facilmente visualizáveis. Esse processo pode ser observado na Figura 1.



Figura 1: Processo de preparação da polpa de sacos de cimento: A torção da fibra, B, fibra após torção e C, fibra após dispersão

Por fim, o material foi disposto em lonas para a secagem completa, à temperatura ambiente. Foi realizado ensaio de massa unitária baseado na NBR 16972 (ABNT, 2021), método C, visto que esse não é um material comumente utilizado e, portanto, não possui ensaio próprio

normatizado.

Destaca-se que, para todos os materiais, optou-se pela utilização da massa unitária ao invés da densidade devido à sua relevância na caracterização de materiais com porosidade ou características granulares, como os contemplados neste estudo.

A massa unitária é uma propriedade que leva em consideração o volume total ocupado pelo material, incluindo os espaços vazios entre as partículas. Dessa forma, ela reflete de maneira mais precisa a quantidade de material presente em uma unidade de volume, considerando tanto a massa das partículas sólidas quanto os vazios presentes na estrutura do material. Além disso, destaca-se a escolha pelo método C da NBR 16972 (ABNT, 2021), pois esse corresponde à materiais em estado solto, como são utilizados na fabricação das argamassas.

Os parâmetros físicos dos materiais estão apresentados na Tabela 1.

Parâmetro físico	Areia	Resíduo de gesso moído	Fibras do papel kraft
Massa unitária (kg/m ³)	1420	530	62,58
Módulo de finura	2,03	1,80	-

Tabela 1: Massa unitária dos materiais utilizados na fabricação das argamassas

Salienta-se que, de acordo com a NBR 13207 (ABNT, 2017), o

gesso para utilização na construção civil (revestimento, fabricação de componentes ou elementos) deve possuir massa unitária igual ou superior à 600 g/cm³. Dessa forma, o material obtido pela reciclagem não se enquadraria nos requisitos mínimos dos gessos comerciais e não poderia ser utilizado para esses fins. Porém, poderia ser empregado na fabricação de objetos de decoração, ou misturado com outros materiais de construção, como é o caso da argamassa proposta.

Destaca-se que o coeficiente de uniformidade (razão entre os diâmetros correspondentes à 60% e 10% dos grãos passantes, segundo a NBR 6502 (2022)) da areia correspondeu à 3,27, o que significa que esse material é muito uniforme (com pouca continuidade), o que pode gerar uma argamassa com maior número de vazios e levar ao maior consumo de pasta para adquirir uma boa trabalhabilidade. A dimensão máxima característica da areia é 1,18 mm.

Moldagem dos corpos de prova

Inicialmente, o traço proposto para as argamassas seria baseado no traço para ensaios de resistência da NBR 7215 (ABNT, 2019), com uma ressalva: a norma propõe a utilização de quatro parcelas de areia com diferentes granulometrias e nesse estudo seria utilizado somente um tipo de areia, de granulometria média, considerando que em canteiros de obras essa mistura de agregados miúdos não é usual.

Entretanto, ao realizar a mistura de referência (sem adição

determinada através de ensaios de consistência, a fim de se atingir a consistência de 260 ± 5 mm, determinada pela norma NBR 16541 (ABNT, 2016).

A partir desse traço, foram determinados traços com substituição de areia por fibra nas percentagens de 2,5 e 5% (em relação à massa de cimento) e adição de resíduo de gesso moído nas proporções de 1:1 e 1:2 (cimento:gesso), em volume, obtendo os traços apresentados na Tabela 2.

Traço	G0F0	G1F2, 5	G1F5	G2F2, 5	G2F5	Total (g)
Descrição	Traço de referência	Gesso (1:1) Fibra (2,5%)	Gesso (1:1) Fibra (5%)	Gesso (1:2) Fibra (2,5%)	Gesso (1:2) Fibra (5%)	
Cimento (g)	685,10	685,10	685,10	685,10	685,10	3425,51
Areia (g)	3425,51	3408,38	3391,26	3408,38	3391,26	17024,80
Gesso (g)	0,00	319,23	319,63	639,27	639,27	1917,80
Fibra (g)	0,00	17,13	34,26	17,13	34,26	102,77
Água (g)	856,38	856,38	856,38	856,38	856,38	4281,89

Tabela 2: Definição dos traços utilizados

de resíduos) no laboratório, percebeu-se que a argamassa não adquiriu consistência e aspecto de argamassa de assentamento. Portanto, a proporção dos materiais foi alterada, chegando a um traço de 1:5 (cimento:areia) em massa, traço comumente utilizado em canteiros de obra para argamassas de assentamento. Além disso, a quantidade de água do traço de referência foi controlada e

As argamassas foram misturadas manualmente, sem a utilização de misturador mecânico. Primeiramente, o cimento, a areia e o gesso (para os traços com resíduos) foram colocados em um recipiente e homogeneizados. Posteriormente, adicionou-se 75% da água do traço, conforme recomendação da NBR 13276 (ABNT, 2016), misturando-se até que a argamassa ficasse homogênea.

Para os traços com resíduos, as fibras eram misturadas e dispersas nessa água, antes de adicioná-la ao material seco, para facilitar a mistura. Após misturar e raspar a superfície de todo o recipiente, adicionou-se o restante da água e a mistura foi homogeneizada novamente.

Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005b). Para a moldagem, foi aplicada uma fina camada de óleo desmoldante nas paredes internas das formas e, em seguida, elas foram colocadas sobre a mesa de adensamento (da marca Solotest). Preencheram-se as formas com duas camadas de argamassa, aplicando 30 golpes da mesa em cada uma. Posteriormente, foram rasadas para eliminar o excesso de argamassa. Segundo a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b), os corpos de prova deveriam permanecer nos moldes por 48 ± 24 h. Como foi utilizado cimento de alta resistência inicial, optou-se por desenformá-los com 24 h. Foram moldados cinco corpos de prova para cada traço, sendo um traço rodado por dia.

Ensaios na argamassa fresca

As argamassas frescas foram ensaiadas para posteriormente

caracterizá-las de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023). Foi realizada a determinação da consistência da argamassa fresca de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) e da densidade de massa NBR 13278 (ABNT, 2005a).

Ensaios na argamassa endurecida

Aos 28 dias, as argamassas endurecidas passaram por ensaios para determinar a resistência à compressão e à tração na flexão (NBR 13279 (ABNT, 2005b)), utilizando uma prensa hidráulica da marca Chenda, modelo WDW-300E), absorção por capilaridade (NBR 15259 (ABNT, 2005e)) e densidade de massa aparente no estado endurecido (NBR 13280 (ABNT, 2005c)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consistência

A princípio, foi definida a quantidade de água necessária para que o traço de referência atingisse a consistência de 260 ± 5 mm, determinada pela norma NBR 16541 (ABNT, 2016). Os traços com resíduos foram preparados então com essa mesma quantidade de água e foram ensaiados. Entretanto, percebeu-se que a adição de fibras e gesso na mistura levou à necessidade de adição de

mais água para adquirir a mesma trabalhabilidade da mistura G0F0, ou seja, os resíduos colaboraram para a diminuição da consistência da argamassa. Dias (2017) e Santos e Carvalho (2011) também relataram a diminuição da consistência causada pela adição de fibras, no entanto Dutra et al. (2017) demonstraram que o acréscimo no consumo de água é muito mais significativo devido à adição de gesso do que com as fibras.

Nos traços G2F2,5 e G2F5, além da diminuição da consistência, houve um efeito distinto. A maior adição de gesso fez com que o tempo de pega das argamassas fosse bastante acelerado. As argamassas foram rodadas e imediatamente colocadas na mesa de adensamento para a realização do ensaio. Entretanto, ao retirar o molde para posteriormente acionar a mesa, as argamassas já se encontravam endurecidas. Após os 30 golpes, nenhuma mudança foi observada. Esses traços foram descartados e rodados novamente, com 300 ml de água a mais do que o traço referência. Apesar de adquirirem uma boa trabalhabilidade, mais uma vez, percebeu-se o endurecimento acelerado, impossibilitando a realização do ensaio.

Esse fenômeno está associado à falsa pega do cimento. De acordo com Neville (2016), a falsa pega do cimento é o enrijecimento prematuro anormal da pasta, em poucos minutos após a adição de água. Segundo Mehta e Monteiro (2006), isso ocorre quando há um baixo teor de aluminato de cálcio (C_3A) no cimento, combinado com grande quantidade de hemihidratos ($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$), levando à uma baixa concentração de íons aluminato (AlO_4^-) e alta concentração de íons cálcio (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}). Nesse caso, haverá uma formação rápida de cristais de gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) e, consequentemente, a perda de consistência. Os autores ainda explicam que esse aspecto só é observado nos cimentos com altos teores de gesso na sua forma calcinada (como hemi-hidratos ou anidritas). Isso ocorre pois o gesso possui baixa solubilidade em sua forma de gipsita, o que dificulta a formação dos íons. Entretanto, quando o sulfato é adicionado no cimento sob uma forma mais solúvel, tanto o tempo de pega quanto o seu endurecimento são acelerados. Dessa forma, tempos de pega menores que 10 minutos podem ser atingidos utilizando misturas de cimento e gesso calcinado. Todavia, a durabilidade e a resistência do produto serão

reduzidas.

Esse efeito foi observado também por Luiz Júnior *et al.* (2018). Os autores produziram argamassas com resíduos da construção e diversos teores de gesso comercial. Não foi possível moldar as misturas com teores de 7,5% e 10% de adição de gesso em relação ao agregado miúdo, pois apresentaram início imediato de pega e falta de plasticidade, assim como observado nesse estudo. Todavia, utilizando-se o gesso reciclado hidratado (sem a calcinação durante o processo de reciclagem e, portanto, menos solúvel), Cavalcante *et al.* (2018) relataram que não houve nenhuma influência no tempo de pega da argamassa. Mehta e Monteiro (2006) ainda destacam que esse fenômeno poderia ser sanado misturando novamente a argamassa, com ou sem adição de mais água. No entanto, esse processo não seria ideal no canteiro de obras, pois levaria à um maior prazo para a execução do assentamento. Deste modo, os traços G2F2,5 e G2F5 foram descartados e somente os traços G0F0, G1F2,5 e G1F5 seguiram para os demais testes.

Após o primeiro ensaio de consistência, foi adicionado mais água nos traços a fim de atingir uma boa trabalhabilidade da

argamassa. Para o traço G1F2,5, com o acréscimo de 200 ml foi possível atingir o valor de consistência recomendado pela norma. No traço G1F5 houve uma mudança devido ao acréscimo de fibras: apesar de visualmente a argamassa ter adquirido a mesma trabalhabilidade (após o acréscimo de 350 ml de água) que as outras produzidas antes dela, quando colocada na mesa de consistência e aplicados os golpes, as fibras da argamassa dificultaram o espalhamento da mistura na *flow table*. Porém, como esse traço obteve o mesmo aspecto e textura que os outros, não dificultando o trabalho com o material, optou-se por não adicionar mais água para não comprometer as características da mistura.

Esse aspecto também foi observado por Santos e Carvalho (2011). As autoras perceberam que, ainda que a fibra exija um acréscimo de água, o que, consequentemente, levaria a uma maior fluidez, a ação das fibras se sobrepõe a esse efeito, pois elas conferem maior coesão à argamassa. Isso ocorre porque a fibra forma uma espécie de “esqueleto” que resiste melhor às forças de espalhamento quando comparada à argamassa de referência. Além disso, as autoras perceberam que esse aspecto da

mistura foi responsável por tornar a aplicação nos blocos menos trabalhosa, facilitando o processo de assentamento, diminuindo a quantidade de argamassa para fazer uma junta com a mesma espessura e ainda, reduzindo o tempo gasto com acabamento e limpeza do excesso de argamassa

Os índices de consistência dos traços são apresentados na Tabela 3.

Traço	Acréscimo de água (g)	Consistência (mm)
G0F0	0	256,15
G1F2,5	200	255,92
G1F5	350	198,94
G2F2,5	-	-
G2F5	-	-

Tabela 3: Consistência dos traços ensaiados

Densidade da argamassa fresca

As densidades das argamassas frescas estão apresentadas na Figura 2.

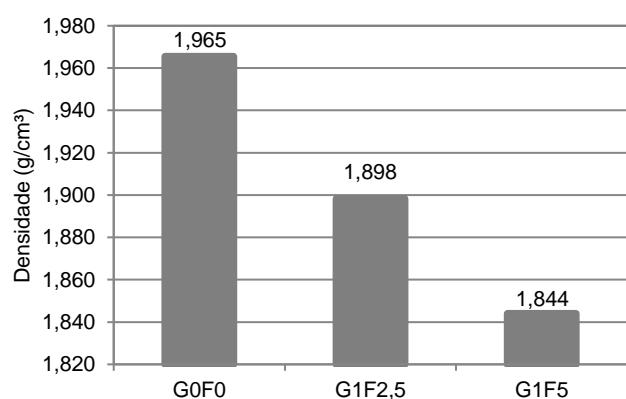


Figura 2: Densidade das argamassas no estado fresco.

Percebe-se que, mesmo com o acréscimo do gesso, as argamassas frescas reduziram sua densidade.

Isso ocorreu principalmente devido à substituição de areia pela fibra, que possui massa unitária bastante inferior à do agregado miúdo. Santos e Carvalho (2011) e Dias (2017) relatam que a adição de fibras pode elevar o teor de ar incorporado na argamassa, fator que também reduz a densidade. Essa redução pode ser favorável, pois, além de diminuir o carregamento na estrutura, nos casos de preparo e aplicação manual da argamassa, ela pode se tornar mais trabalhável em longo prazo, reduzindo os esforços durante a aplicação.

Entretanto, mesmo reduzindo esse parâmetro, tanto a argamassa de referência quanto os traços com resíduo ainda se caracterizaram como argamassa normal, segundo a classificação de Carasek (2007) e são de classe DF3, de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão obtidos para cada traço aos 28 dias podem ser observados na Figura 3.

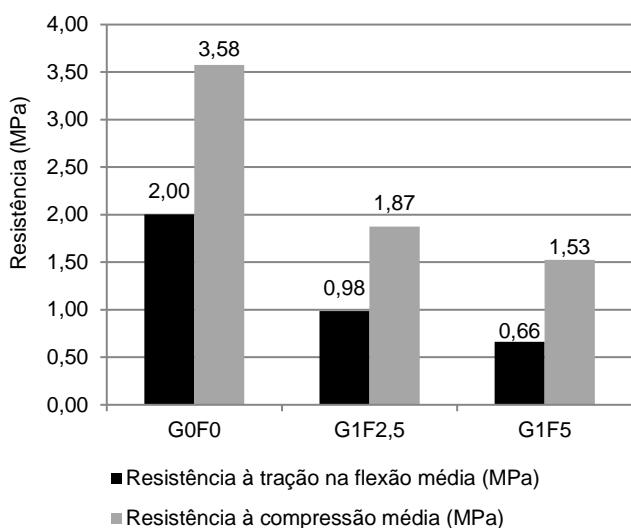


Figura 3: Resistência à tração na flexão e à compressão aos 28 dias.

Como se pode perceber, houve uma redução de ambas as resistências. Primeiramente, os resíduos já possuem resistências inferiores aos demais materiais da argamassa, o que contribui para a diminuição desse parâmetro. Além disso, as argamassas com os resíduos requereram uma maior quantidade de água para o amassamento, o que resulta em corpos de prova mais porosos após a cura. O acréscimo no teor de ar incorporado da mistura causados pela fibra também contribui para o aumento da porosidade e consequente diminuição da resistência mecânica. Além disso, a adição de gesso sem alterar a quantidade de cimento pode ter contribuído para o “empobrecimento” do traço, diminuindo sua resistência. Por fim, apesar das fibras terem ficado bem distribuídas na maior parte dos

blocos, após a ruptura dos corpos de prova foi possível perceber o acúmulo de fibras em alguns locais que, em comparação com as demais seções, apresentaram menor resistência e podem ter contribuído para a ruptura dos blocos.

De acordo com os valores apresentados de cada traço, o traço G0F0 poderia ser utilizado como argamassa para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (vedação – AAV – $2,0 < f_a < 5,0$ MPa), ou argamassa para fixação horizontal de alvenaria (encunhamento – AAF – $1,5 < f_a < 5,0$ MPa) segundo a resistência à compressão. A utilização dos resíduos fez com que os traços G1F2,5 e G1F5 só possam ser utilizados como AAF.

Apesar da diminuição das resistências, os valores obtidos não se encontram tão diferentes das argamassas industrializadas. Silva et al. (2009) realizaram ensaios para caracterizar argamassas industrializadas, comercializadas em diversas regiões do país, de acordo com os parâmetros da NBR 13281-2 (ABNT, 2023). Os autores perceberam uma grande variação das características das misturas produzidas, sendo que as resistências à tração na flexão e à compressão de dez argamassas distintas variaram de 0,4 a 5,0 MPa

e 1,2 à 22,5 MPa, respectivamente.

Bauer e Rodrigues Filho (2013) também relataram a grande variação das características mecânicas de argamassas de assentamento e revestimento industrializadas, sendo que as resistências à tração e compressão variaram de 0,9 a 3,9 MPa e 1,6 a 14,3 MPa respectivamente. Esse fato destaca a importância de classificar as argamassas e indicar o tipo de uso mais apropriado para cada classe (informação que não consta na norma brasileira de requisitos de argamassas, que trata somente da classificação), sendo que muitas vezes elas acabam sendo utilizadas para o mesmo fim apesar de terem características tão distintas.

Apesar disso, há estudos que comprovam que não há uma relação linear entre a resistência da argamassa e a resistência dos prismas moldados com ela, sendo que redução de 80% da resistência da argamassa leva à uma redução de somente 20% da resistência das paredes assentadas (Valle, 2008).

Entretanto, mesmo com a diminuição das resistências, a presença da fibra contribuiu para a diminuição de fissuras nos corpos de prova. Enquanto os corpos da argamassa de referência abriam fissuras rapidamente à medida que se aproximavam da carga máxima,

ambos os traços que continham as fibras permaneciam com as faces aparentemente intactas, mesmo após a prensa indicar que o corpo de prova havia rompido. Esse fato fez com que os ensaios de tração desses corpos de prova fossem muito mais demorados, pois, após atingir a carga de ruptura, era necessário que o ensaio prosseguisse por mais vários minutos até que aparecessem fissuras e o corpo pudesse ser dividido em duas partes para o ensaio de compressão. Os ensaios da argamassa G0F0 duraram em média 6 minutos até a separação das faces, enquanto os ensaios dos traços G1F2,5 e G1F5 duraram em média 8 e 12 minutos respectivamente. No ensaio de compressão também foi possível perceber a diferença entre o traço de referência e os que continham fibras. Enquanto o traço G0F0 se partia e esfarelava, os traços G1F2,5 e G1F5 continuaram com suas faces "ligadas", sem com que as fissuras se separassem. Além disso, esses traços esfarelaram menos quando comparados à referência.

Esse aspecto comprova que as fibras recicladas do papel Kraft podem melhorar as características frágeis das matrizes comentícias, permitindo deformações sem a abertura de fissuras e, ainda,

ligando as faces fissuradas e impedindo que elas aumentem.

Densidade de massa no estado endurecido

endurecido e absorção por capilaridade

A densidade média da argamassa no estado endurecido pode ser observada na Figura 4.

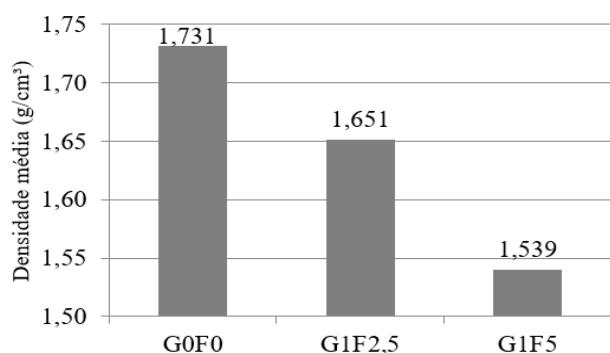


Figura 4: Densidade média da argamassa no estado endurecido

Como se pode observar, se constatou que a utilização dos resíduos levou à diminuição da densidade das argamassas também no estado endurecido.

Analizando a Figura 5, percebe-se que os resíduos colaboraram para a maior absorção de água. Assim como já comentado, o maior consumo de água nas argamassas G1F2,5 e G1F5 colaborou para o aumento da porosidade das misturas e, consequentemente, da absorção. Além disso, a capacidade individual de absorção de cada material pode contribuir para um acréscimo nesse parâmetro.

Percebe-se que a adição de gesso e 2,5% de fibras simultaneamente fizeram com que

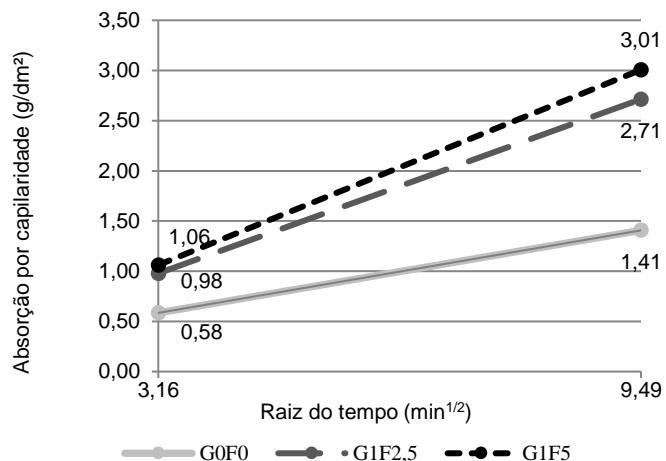


Figura 5: Absorção por capilaridade das argamassas em estado endurecido

a absorção por capilaridade aumentasse em aproximadamente 93%, enquanto a diferença entre absorção do traço G1F2,5 e o traço com o dobro de fibras, G1F5, é bem inferior. Santos e Carvalho (2011) também observaram que a substituição de 10% de agregado miúdo por fibra de saco de cimento reciclado levou a um acréscimo de aproximadamente 39% na absorção por capilaridade das argamassas, valor bem inferior ao encontrado nesse trabalho. Portanto, pode-se concluir que apesar da fibra também colaborar para o aumento da absorção, o gesso tem uma influência maior nesse parâmetro.

Os valores de coeficiente de capilaridade para os traços G0F0, G1F2,5 e G1F5 foram, respectivamente, de 13,16, 27,75 e 31,12 $\text{g}/\text{dm}^2\text{min}^{1/2}$. Novamente, Silva et al. (2009) relataram valores bastante discrepantes para as argamassas industrializadas do

mercado, que variam de 2,1 à 14,8 g/dm²min^{1/2}. Bauer e Rodrigues Filho (2013) encontraram coeficientes de capilaridade que variam de 0,1 à 12,1 g/dm²min^{1/2}.

CONCLUSÕES

Comprovou-se que a adição de gesso reciclado calcinado na proporção de 1:2 (cimento:gesso) acelera o tempo de pega do cimento e impossibilita a utilização da argamassa. Para os traços com a relação inferior à essa, os corpos foram moldados normalmente.

Foi possível perceber que esses resíduos levaram à necessidade de acréscimo de mais água nas misturas, corroborando com os resultados encontrados por outros autores. Além disso, percebeu-se que as argamassas com fibras podem ter uma redução na consistência medida na *flow table*, porém não atrapalhando a trabalhabilidade, quando corrigido o teor água/materiais secos.

Ainda, destaca-se o fato de que mesmo com acréscimo de gesso, as misturas reduziram sua densidade de massa, tanto no estado fresco como no endurecido. Também se observou que houve um aumento da absorção das argamassas endurecidas, devido à absorção relacionada à cada material, como também pela porosidade adquirida pela mistura.

Assim como comprovado por alguns autores, a utilização desses resíduos levou à diminuição das resistências, sendo a resistência à tração a mais afetada, sofrendo um decréscimo de 51% e 67% para os traços G1F2,5 e G1F5, respectivamente. Na resistência à compressão, os decréscimos foram um pouco menores, de aproximadamente 48% e 57% para os dois traços. Essa redução fez com que as argamassas produzidas mudassem suas possibilidades de uso de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023), sendo que poderiam ser utilizadas tanto para AAV, quanto para AAF, após a adição dos resíduos somente podendo ser utilizada para AAF. Novamente, destaca-se a influência da adição de mais água nas misturas com fibra, o que aumentou a presença de vazios e pode ter contribuído para a diminuição das resistências.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a definição de traços que utilizem somente a fibra (G0F2,5 e G0F5) e somente o gesso (G1F0 e G2F0) separadamente, para que possa ser avaliada a influência individual de cada material. Além disso, sugere-se definições de traços com outras percentagens de resíduos inferiores aos limites aqui utilizados, uma vez que se comprovou a redução das resistências mecânicas e aumento

da absorção consideráveis com esses traços, enquadrando-os quase sempre nas classes mais extremas de cada característica. Recomenda-se também utilizar aditivos plastificantes, a fim de reduzir a relação água:cimento e avaliar a consequência na porosidade e resistência das argamassas endurecidas. Além disso, várias pesquisas apontam que fibras naturais podem ser degradadas e comprometer as características dos compósitos cimentícios. Por isso, recomenda-se o estudo da viabilidade da utilização das fibras recicladas em longo prazo, a fim de avaliar se o mesmo processo ocorre com esse material.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural.** 2016. 129 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and**

Building Materials, v. 79, p. 115-128, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13207:** Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13280:** Argamassa para

assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281: Argamassas inorgânicas — requisitos e métodos de ensaios - Parte 2: argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 1654 1: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7215 : Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT 6502: Solos e rochas - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS DRYWALL (ABFCD). Resíduos de gesso na construção civil: Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem. São Paulo: DRYWALL, 2009. 26 p.

BAUER, E.; RODRIGUES FILHO, H. Avaliação experimental das

argamassas industrializadas de revestimento em condições de campo. In: Congresso Brasileiro do Concreto (CBC), 55, 2013. Gramado - RS. **Anais...** Gramado-RS: IBRACON, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 17 jul. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 24 maio 2011.

BUSON, M. A. **Kraftterra:** Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. 2009. 135 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e

Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CAMARINI, G.; PINHEIRO, S. M. M. Microstructure of Recycled Gypsum Plaster by SEM. **Advanced Materials Research**, v. 912–914, p. 243–246, 2014.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

CAVALCANTI, J. P.; CARVALHO, E. R.; SILVA, M. S.; BRITO, J. L.; MATTIAS, L. W. A. Estudo da viabilidade da aplicação de resíduos de gesso em argamassa de assentamento para alvenaria de bloco cerâmico. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTECC), 5, 2018, Maceió-AL. **Anais...** CONTEC, 2018.

DIAS, R. A. **Avaliação da interferência da adição de fibra de papel kraft em argamassas**. 2017. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

DUTRA, M. L.; KOCHEM, K.; POSSAN, E. Aproveitamento de resíduos de papel kraft e gesso na produção de argamassas. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8 , 2017, Curitiba - PR. **Anais...** Instituto Venturi para Estudos Ambientais, 2017.

LUIZ JÚNIOR, D. S.; PRADO, R. W.; PEDROSO, D. E. A influência do gesso presente no agregado miúdo reciclado para fabricação de argamassas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ConBRepro), 8, 2018, Ponta Grossa – PR. **Anais...** ConBRepro, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete:** Microstructure, Properties, and Materials. 3 ed. McGraw-Hill, 2006.

MORAIS, C. D. N.; CRUZ, W. M.; MORAIS, M. V. A.; LOUZADA, R. P.; MENDES, P. R. L. Reforço de argamassas com fibras de papel kraft reaproveitadas de embalagens de cimento. **Brazilian Journal of Development**, 2022.

MUNHOZ, F. C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa.** 2008. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

MUNHOZ, F. C.; RENOFIO, A. Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 27, 2007, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** Enegep, 2007.

NASCIMENTO, F. J. DE F.; PIMENTEL, L. L. Reaproveitamento de resíduo de gesso. In: Encontro de iniciação científica da PUC, 15., 2010, Campinas. **Anais** PUC, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NOVAIS, H. S.; FREITAS, G. S. Construção sustentável: Adição de sacos de cimento na fabricação de tijolos ecológicos. **Research, Society and Development**. v. 13, n.1, e10113144841, 2024.

PAULA JUNIOR, A. C.; OLIVEIRA, T. M.; POLISSENI, A. E.; MARQUES, G. L. O.; BASTOS, P. K. X.. Metodologia de dosagem e viabilidade em estudo do potencial de aplicação do resíduo de concreto como agregado graúdo para concretos permeáveis sem uso de

aditivos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.359-376, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0032>

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado:** avaliação de propriedades para uso em componentes. 2011. 304 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

PINZ, F. P.; PALIGA, C. M.; DA SILVA TORRES, A. Avaliação do desempenho mecânico e físico de argamassas com resíduo de cerâmica vermelha. **Paranoá**, [S. I.], n. 31, 2021. DOI: [10.18830/issn.1679-0944.n31.2021.05](https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n31.2021.05). Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/34899>. Acesso em: 17 fev. 2023.

SANTOS, L. R.; CARVALHO, P. E. F. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento.** 2011. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SANTOS, R. F. C.; CASTRO, A. L.; GONÇALVES, K. M.. Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 23, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rmat/a/ZS3NMqbY7zSG6HhH4nFZHTs/?lang=pt>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

SILVA, N. G.; COSTA, M. R. M. M.; KANNING, R.; VASCO, C. Caracterização de argamassas industrializadas dos estados do Paraná e Santa Catarina segundo a NBR 13281/2005. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), 8, 2009, Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba-PR: SBTA, 2009.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). Despacho total por forma de apresentação. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1732642950.pdf>>. Acesso em: 26 de novembro de 2024.

TAVARES, Y. V. P.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C.; SCHMITZ, I. B. T. A.; JOHN, V. M. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 103–119, 2010.

TEIXEIRA, F. R.; MAGALHÃES, F. C.; WALLY, G. B.; *et al.* Use of ornamental rock waste as a partial substitute for binder in the production of structural concrete. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 13, n. 3, p. 501–514, 2020.

VALLE, J. B. S. Patologia das alvenarias:

Causa/Diagnóstico/Previsibilidade. 2008. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia da Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.