



PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS COM RCD REFORÇADAS COM FIBRA DE SISAL

SOARES, EDILSON (1); BRAVO, MIGUEL (2); GONILHO-PEREIRA, CRISTIANA (3); JASPER, CATARINA MARCHI (4)

(1) USJT, SÃO PAULO-SP, BRASIL, schaffen.engenharia@gmail.com

(2) CERIS, IST, ULISBOA, miguelnbravo@gmail.com

(3) INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL, ESCOLA SUPERIOR DE
TECNOLOGIA DO BARREIRO (PORTUGAL),
CRISTIANA.PEREIRA@ESTBARREIRO.IPS.PT

(4) DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, INSTITUTO
FEDERAL DE SANTA CATARINA (BRASIL), CATARINA.J@ALUNO.IFSC.EDU.BR

ABSTRACT

Sustainable development is a crucial political and social project for humanity, encouraging the search for sustainable solutions. In materials engineering, the use of low-cost and low-energy materials is essential. This research addresses environmental and sustainable development issues, focusing on the use of Construction and Demolition Waste (CDW). The use of CDW prevents its irregular disposal in landfills, increasing recycling in Portugal. In addition, the Agave Sisalana plant, abundant in Brazil, especially in Bahia, offers usable fibers and pulp. Mortar with CDW and sisal fibers is sustainable, composed of recycled and abundant materials. Nine types of mortars were produced: cement with fine natural aggregate (reference), replacing 50% and 100% of the fine natural aggregate with fine recycled aggregate, with the addition of 1% and 2% of 30 mm sisal fiber. Tests were performed on spreading, density, air content, mechanical strength, thermal conductivity, brick pullout, open porosity and capillary water absorption. The results showed that the recycled aggregate increased compressive strength, capillarity and porosity. The presence of fibers allowed large deformations before rupture, significantly improving mechanical strength and thermal conductivity.

Keywords: Sustainability; Construction and Demolition Waste; Natural fiber; Mechanical strength; Durability.

RESUMO

O desenvolvimento sustentável é um projeto político e social crucial para a humanidade, incentivando a busca por soluções sustentáveis. Na engenharia de materiais, a utilização de materiais de baixo custo e baixo consumo energético é essencial. Esta investigação aborda questões

ambientais e de desenvolvimento sustentável, focando no aproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). O uso de RCD evita sua deposição irregular em aterros, aumentando a reciclagem em Portugal. Além disso, a planta Agave Sisalana, abundante no Brasil, especialmente na Bahia, oferece fibras e polpa utilizáveis. A argamassa com RCD e fibras de sisal é sustentável, composta por materiais reciclados e abundantes. Nove tipos de argamassas foram produzidos: de cimento com agregado natural fino (referência), substituindo 50% e 100% do agregado natural fino por agregado reciclado fino, com adição de 1% e 2% de fibra de sisal de 30 mm. Foram realizados ensaios de espalhamento, massa volúmica, teor de ar, resistência mecânica, condutibilidade térmica, arrancamento em tijolos, porosidade aberta e absorção de água por capilaridade. Os resultados mostraram que o agregado reciclado aumentou a resistência à compressão, capilaridade e porosidade. A presença de fibras permitiu grandes deformações antes da rutura, melhorando significativamente a resistência mecânica e a condutibilidade térmica.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Resíduos de Construção e Demolição; Fibra natural; Resistência mecânica; Durabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável tem ganhado crescente relevância nas últimas décadas, abrangendo uma vasta gama de práticas e políticas voltadas para a produção menos poluente, a ecoeficiência, a gestão ambiental e a responsabilidade social. Na engenharia civil, a necessidade de alinhar a indústria da construção com os princípios do desenvolvimento sustentável é particularmente urgente, uma vez que este setor é um dos mais poluentes, devido ao seu elevado consumo de recursos naturais e à geração massiva de resíduos.

Um dos principais desafios para a construção sustentável é a minimização do consumo de recursos naturais, promovendo a reciclagem e a reutilização de materiais. Nesse contexto, a utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) surge como uma alternativa viável e necessária. Os RCD, quando reciclados e incorporados em novos materiais de construção, não só evitam a deposição irregular em aterros como também contribuem para a economia circular e a redução do impacto ambiental.

O artigo em questão foca-se na produção e caracterização de argamassas que incorporam RCD reforçados com fibras de sisal. O sisal, planta abundante no Brasil, especialmente no estado da Bahia, oferece fibras naturais que podem ser utilizadas para reforçar a argamassa, melhorando suas propriedades mecânicas e contribuindo para a sustentabilidade. A integração de fibras de sisal com agregados reciclados em argamassas visa não apenas reduzir o impacto ambiental, mas também melhorar a eficiência e a durabilidade dos materiais de construção.

Este estudo promoveu a produção de nove tipos de argamassas: uma argamassa de referência com cimento e agregado natural fino; duas argamassas com substituições de 50% e 100% de agregado fino natural por agregado reciclado fino; seis argamassas com adições de 1% e 2% de fibra de sisal. Foram realizados ensaios de espalhamento, massa volúmica, teor de ar, resistência mecânica, condutibilidade térmica, porosidade aberta e absorção de água para avaliar o desempenho das argamassas.

2 EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS E PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS RCD

A exploração dos recursos naturais e a produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são processos complexos que envolvem várias fases distintas. A exploração dos agregados naturais inicia-se com uma avaliação geológica preliminar para identificar as melhores localizações para extração, utilizando mapas topográficos, relatórios de engenharia e estudos geofísicos (Drew et al., 2004).

Na fase de extração, areia, cascalho e pedras são removidos de minas a céu aberto ou de depósitos subaquáticos. Este processo pode ser realizado através de técnicas de mineração seca ou molhada, dependendo das condições naturais do local e do material a ser extraído (Langer, 1993). Após a extração, o material é transportado para centrais de britagem, onde passa por trituração, separação e, em alguns casos, lavagem (Drew et al., 2004).

As centrais de reciclagem, que podem ser fixas ou móveis, desempenham um papel crucial no processamento dos RCD. As centrais fixas ocupam uma grande área e são capazes de produzir agregados reciclados de alta qualidade, enquanto as centrais móveis são levadas aos locais de produção dos resíduos, reduzindo os custos de transporte e o impacto ambiental (Vázquez et al., 2006).

O processamento dos RCD nas centrais de reciclagem envolve várias etapas, incluindo a aceitação dos resíduos, pré-triagem, separação de contaminantes, britagem, crivagem, armazenamento e saída dos produtos finais. Esta reciclagem contribui significativamente para a sustentabilidade, minimizando o impacto ambiental e reduzindo os custos de produção de materiais de construção (Pereira et al., 2004).

Os RCD são maioritariamente compostos por betão, cerâmicos, brita, madeira, vidro, outros orgânicos, tubos de plástico, asfalto, impurezas, solo e lamas, areia e metais. A utilização significativa dos RCD começou após a Segunda Guerra Mundial devido à grande quantidade de destroços e à necessidade de materiais de construção (Pinto, 2005). Esta utilização beneficia o meio ambiente e reduz os impactos ambientais da extração de recursos naturais.

A pedra, a areia e o cascalho são fontes primárias de agregado natural usadas diretamente na construção ou como matéria-prima para a

produção de outros produtos, como o betão (USGS, 1999). A reciclagem dos agregados tem ganhado importância, pois aumenta sua vida útil e reduz os impactos ambientais ao redor dos locais de construção (Wilburn & Goonan, 1998).

A exploração das jazidas de agregados naturais envolve a interação entre os produtores de agregados e a comunidade local. Na década de 1960, muitas fontes de agregados foram esgotadas e substituídas por outras construções, e as especificações para a qualidade dos agregados tornaram-se mais rigorosas (Langer, 1993). Antes da exploração, é feita uma avaliação geológica preliminar com mapas topográficos, relatórios de engenharia e geólogos, seguida por estudos detalhados utilizando imagens de satélite, fotografias aéreas e estudos geofísicos para definir os limites das fontes de agregados (Drew et al., 2004).

Após a escolha do local, inicia-se a mineração dos agregados, que inclui a remoção de camadas de terra para expor a areia, cascalho ou pedra, separação do solo orgânico, construção de vias de circulação e instalações de tratamento (Drew et al., 2004). Os métodos de mineração variam conforme o tipo de material e as condições naturais do local.

A extração envolve a retirada da areia e cascalho de minas a céu aberto ou depósitos subaquáticos. Em áreas secas, utiliza-se equipamentos de terraplanagem como escavadeiras e niveladoras (Drew et al., 2004). Em áreas com lençóis freáticos, a extração pode ser realizada a seco, com bombagem de águas subterrâneas ou a molhado, com reboques, baldes ou dragas hidráulicas. A extração de brita envolve perfuração e uso de explosivos para quebrar a rocha em pedaços apropriados para britagem (Drew et al., 2004).

O processamento dos agregados naturais pode ocorrer em locais remotos ou em centrais com equipamentos sofisticados, interligados por tapetes rolantes e controlados por computadores (Drew et al., 2004). O processamento inclui transporte dos agregados para a central, britagem, trituração, lavagem, armazenamento e abastecimento. Os agregados são transportados para um britador primário, triturados e separados por tamanho em um crivo vibratório. O material que se encontre conforme os padrões desejados é armazenado, enquanto que o material de grandes dimensões é reintroduzido no processo (Langer, 1993).

O transporte dos agregados é definido pelo cronograma de entrega, volume transportado, distância e disponibilidade dos meios de transporte. Este transporte é majoritariamente realizado por caminhões, que podem transportar cerca de 25 toneladas, tornando os custos de entrega eficientes (Drew et al., 2004). Em casos com acesso ferroviário, o transporte férreo pode ser mais económico. A pedreira pode ter pistas de aceleração e desaceleração, e pavimentação das estradas de acesso para facilitar o transporte.

A construção de uma central de reciclagem requer uma análise de viabilidade prévia, considerando o volume de RCD reciclável, tipo de material, objetivo de aplicação e local de instalação (Leite, 2001).

O processamento dos RCD nas centrais de reciclagem é semelhante ao dos agregados naturais, envolvendo aceitação, pré-triagem, separação inicial, triagem de fluxos contaminados, britagem, crivagem, armazenamento e saída dos produtos finais (Pereira et al., 2004). A separação eficiente na origem e triagem manual ao chegar à central são cruciais para assegurar a qualidade dos agregados reciclados. A britagem é realizada com britadoras de impacto ou mandíbulas, seguidas por separação magnética para remover metais. O material processado é armazenado e supervisionado para evitar misturas entre os estoques.

3 METODOLOGIA

Este artigo foi realizado na sequência da investigação desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, do Instituto Técnico de Setúbal. O principal objetivo desta investigação consiste em aumentar o conhecimento sobre argamassas produzidas RCD e o comportamento das fibras de sisal aquando da sua introdução em argamassas. Os RCD utilizados contêm cerâmica, argamassa, inertes, entre outros materiais, que após processos de moagem, constituem o Agregado Reciclado Fino (ARF) aproveitado para a produção das argamassas. As fibras de reforço utilizadas são constituídas por sisal.

Para atingir os objetivos propostos, foram analisadas e comparadas nove diferentes misturas de argamassa, utilizando agregado natural fino (ANF) e/ou agregado reciclado fino (ARF), com ou sem fibras naturais de sisal. As misturas analisadas, bem como as respetivas nomenclaturas atribuídas e composições encontram-se presentes na Tabela 1.

Tabela 1- Argamassas produzidas na campanha experimental

Código	Composição
100ANF	100% de ANF e 0% de fibra de sisal (argamassa de referência)
100ANF1FS	100% de ANF e 1% de fibra de sisal
100ANF2FS	100% de ANF e 2% de fibra de sisal
100ARF	100% de ARF e 0% de fibra de sisal
100ARF1FS	100% de ARF e 1% de fibra de sisal
100ARF2FS	100% de ARF e 2% de fibra de sisal
50ANF50ARF	50% de ANF + 50% de ARF e 0% de fibra de sisal
50ANF50ARF1FS	50% de ANF + 50% de ARF e 1% de fibra de sisal
50ANF50ARF2FS	50% de ANF + 50% de ARF e 2% de fibra de sisal

No total, foram produzidos 54 provetes de 40x40x160 mm, seis provetes para cada tipo de argamassa, que foram avaliados aos 28 dias de idade. Também foram produzidos nove provetes adicionais para a avaliação da

aderência por arrancamento aos 28 dias de idade, utilizando tijolos revestidos com 2 cm de argamassa. A quantidade de água utilizada foi determinada de forma a garantir a obtenção de uma consistência adequada para aplicação

Para aferir o desempenho das argamassas produzidas, estas foram caracterizadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No estado fresco, foram avaliadas a consistência por espalhamento, a massa volúmica aparente e o teor de ar. No estado endurecido, foram avaliadas as características mecânicas (resistência à tração por flexão e resistência à compressão e aderência por arrancamento) e físicas (porosidade aberta, absorção de água por capilaridade e condutibilidade térmica).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Resultados dos ensaios aos materiais constituintes

Para se caracterizar os constituintes da argamassa, foi realizada uma análise granulométrica dos agregados finos utilizados (Figura 1). Cada análise foi efetuada com uma amostra de 226,9 g. A curva granulométrica dos AFR utilizados foi construída de forma a que fosse idêntica à dos agregados naturais. A manutenção da curva granulométrica é fundamental para produzir argamassas com a mesma compacidade, permitindo uma adequada comparação entre as diversas argamassas produzidas.

Sobre a dimensão dos constituintes utilizados, refira-se também que as fibras de sisal utilizadas possuíam 3 cm de comprimento.

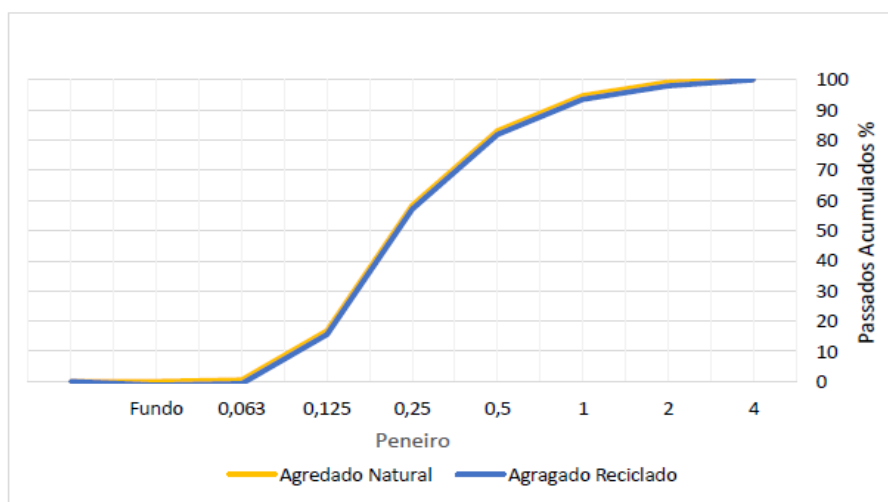


Figura 1- Análise da granulometria dos agregados finos

Os valores da baridade dos agregados reciclados e naturais, bem como do cimento e das fibras de sisal encontram-se na Tabela 2. Destaque-se que a baridade do agregado reciclado é inferior em relação à do

agregado natural, possivelmente devido a alguns dos materiais contidos nos RCD, como os cerâmicos.

Tabela 2- Baridade dos agregados finos, cimento e fibra de sisal

Material	Baridade (kg/m³)
Agregado Reciclado Fino	1320
Agregado Natural Fino	1582
Cimento	1200
Fibra de Sisal	1080 ± 30

4.2 Resultados dos ensaios ao betão no estado fresco

A relação água/ligante, conforme referido no capítulo anterior, foi definida experimentalmente para obter uma consistência adequada para a investigação, introduzindo-se 2% de adjuvante para diminuir a quantidade de água necessária e para ajudar na dispersão dos diversos constituintes das argamassas. Os valores de relação água/ligante variaram entre 0,55 e 0,80. Observa-se que, com o aumento da quantidade de agregados reciclados finos (ARF), a relação água/ligante também aumentou, pois os agregados reciclados têm características físicas (a sua elevada porosidade) que os levam a absorver água durante a amassadura.

Na Tabela 3, podem-se observar as propriedades das argamassas no estado fresco. O espalhamento foi cuidadosamente controlado, mantendo-se entre 155 mm e 165 mm, para garantir uma consistência adequada para reboco e para as argamassas possuírem todas um espalhamento idêntico e, assim, serem comparáveis entre si. O ensaio do teor de ar foi efetuado em todas as amassaduras. Os resultados obtidos mostram que a quantidade de ar na amassadura variou entre 16,5% e 23,0%. Nas argamassas com agregados naturais, verifica-se um aumento do teor de ar com a adição de fibras de sisal, atingindo até 31,4% com a adição de 2% de fibras.

A massa volúmica no estado fresco diminui proporcionalmente com o aumento da taxa de agregados reciclados utilizada. Este fato já era esperado, uma vez que a baridade dos agregados reciclados é inferior à dos agregados naturais. Além disso, o aumento da taxa de sisal também reduziu a massa volúmica no estado fresco, devido à baixa massa volúmica do sisal e ao volume considerável que ocupa na argamassa, mesmo considerando a quantidade de água retida.

Tabela 3- Propriedades das argamassas no estado fresco

Código	Relação Água/Ligante	Espalhamento (mm)	Teor de Ar (%)	Massa Volúmica (kg/m³)
100ANF	0,50	160	16,5	2100
100ANF1FS	0,52	162	18,0	2080
100ANF2FS	0,54	165	19,5	2060
100ARF	0,50	159	17,0	2150
100ARF1FS	0,52	161	20,5	2120
100ARF2FS	0,54	163	23,0	2090
50ANF50ARF	0,51	158	18,5	2110
50ANF50ARF1FS	0,53	160	21,0	2085
50ANF50ARF2FS	0,55	164	23,5	2065

Notas:

Relação Água/Ligante: A quantidade de água em relação ao material ligante utilizado.

Espalhamento (mm): A medida da consistência da argamassa, controlada entre 155 mm e 165 mm.

Teor de Ar (%): O volume de ar ocluído nas argamassas, variando entre 16,5% e 23,0%, mas podendo alcançar até 31,4% com a adição de fibras.

Massa Volúmica (kg/m³): A densidade da argamassa no estado fresco.

4.3 Resultados dos ensaios ao betão no estado endurecido

Os ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão foram realizados para todas as amostras de argamassa produzidas. Os resultados destes ensaios estão presentes na Tabela 4 e indicam que os valores de resistência à compressão ficaram acima de 0,4 MPa, conforme a norma EN 998-1, sugerindo que a quantidade de cimento poderia ser reduzida nas amassaduras para reboco. Na investigação realizada por Bruno (2007) foi produzida uma argamassa de traço 1:3, em volume, tendo obtido valores de resistência à tração por flexão de 4,5 MPa e de resistência à compressão de 18,8 MPa.

Na presente investigação, foi observado que a utilização de agregados reciclados (AR) não provocou uma diminuição na resistência à tração. Por sua vez, a adição de fibras de sisal aumentou significativamente a resistência à tração, especialmente com teores de 2%. Em termos de resistência à compressão, a utilização de AR provocou uma ligeira diminuição desta propriedade, mas a adição de fibras de sisal melhorou significativamente a resistência das argamassas. Nas argamassas com agregados naturais (AN), a adição de sisal resultou em uma melhoria mais

significativa na resistência à compressão (13,0%) do que na resistência à tração (7,5%).

Tabela 4- Resultados dos ensaios de resistência mecânica

Código	Resistência à Tração por Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)
100ANF	7,5	13,0
100ANF1FS	8,2	14,5
100ANF2FS	9,0	15,8
100ARF	7,2	12,7
100ARF1FS	8,7	14,1
100ARF2FS	9,5	15,3
50ANF50ARF	7,3	12,9
50ANF50ARF1FS	8,4	14,3
50ANF50ARF2FS	9,2	15,1

Notas:

Resistência à Tração por Flexão (MPa): Representa a capacidade da argamassa de resistir à tração antes de se romper.

Resistência à Compressão (MPa): Mede a capacidade da argamassa de resistir a forças compressivas.

Nos ensaios de arrancamento por tração (pull-off) das argamassas aplicadas em tijolos, não foram obtidos resultados satisfatórios. Em todos os ensaios realizados, a rutura foi adesiva. Vários fatores influenciaram a baixa resistência no arrancamento, incluindo o tipo de suporte (tijolos argilosos com baixa porosidade), o teor de humidade no suporte, a relação água/ligante da argamassa, a espessura do reboco, a idade do reboco, as condições atmosféricas durante a aplicação, a altura de lançamento da argamassa e as vibrações no momento do corte.

Como se pode observar na Figura 2, os resultados obtidos no ensaio de arrancamento apresentaram valores muito baixos, possivelmente influenciados pelos referidos fatores.

Como se pode observar na Tabela 5, as argamassas com maior teor de agregados reciclados finos obtiveram valores maiores de absorção de água por capilaridade. Isso se deve à elevada absorção de água dos componentes dos RCD utilizados na amassadura. As argamassas com agregados finos naturais aumentaram ligeiramente sua absorção de água por capilaridade com o aumento do teor de sisal, devido à significativa absorção de água das fibras de sisal. No entanto, nas

argamassas com agregados reciclados finos, houve uma redução na absorção de água com o aumento do teor de fibras.

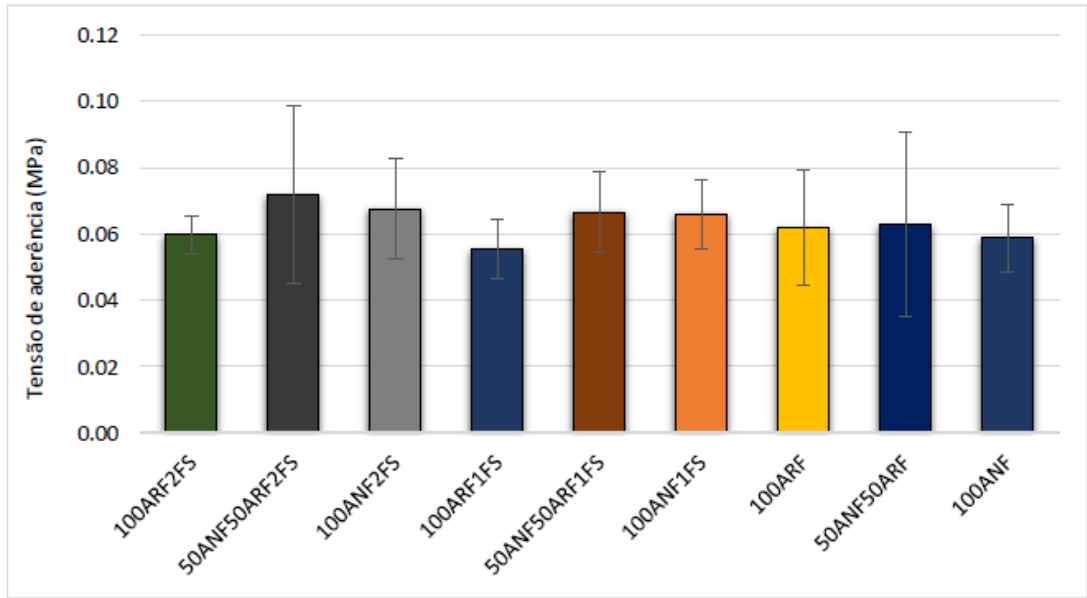


Figura 2- Resultados do ensaio de arrancamento por tração

Tabela 5 - Resultados da absorção de água por capilaridade

Código	Teor de Agregados Reciclados Finos (%)	Teor de Fibras de Sisal (%)	Absorção de Água por Capilaridade (kg/m²)
100ANF	0	0	0,30
100ANF1FS	0	1	0,35
100ANF2FS	0	2	0,40
100ARF	100	0	0,65
100ARF1FS	100	1	0,55
100ARF2FS	100	2	0,50
50ANF50ARF	50	0	0,48
50ANF50ARF1FS	50	1	0,45
50ANF50ARF2FS	50	2	0,42

Notas:

Teor de Agregados Reciclados Finos (%): Proporção de agregados reciclados utilizados na argamassa.

Teor de Fibras de Sisal (%): Proporção de fibras de sisal adicionadas à mistura.

Absorção de Água por Capilaridade (kg/m²): Quantidade de água absorvida pela argamassa através do processo de capilaridade.

Nos ensaios de porosidade aberta, observou-se que a inserção de fibras de sisal na amassadura aumentou ligeiramente a porosidade das argamassas (Tabela 6). Por sua vez, o acréscimo da quantidade de AR utilizada provocou um aumento significativo da porosidade das argamassas, atingindo 21%, aquando da substituição total dos agregados na argamassa com 1% de fibras de sisal.

Tabela 6 - Resultados da porosidade aberta

Código	Teor de Agregados Reciclados Finos (%)	Teor de Fibras de Sisal (%)	Porosidade Aberta (%)
100ANF	0	0	15,0
100ANF1FS	0	1	16,0
100ANF2FS	0	2	17,5
100ARF	100	0	19,0
100ARF1FS	100	1	21,0
100ARF2FS	100	2	22,5
50ANF50ARF	50	0	17,0
50ANF50ARF1FS	50	1	18,5
50ANF50ARF2FS	50	2	20,0

Notas:

Teor de Agregados Reciclados Finos (%): Proporção de agregados reciclados utilizados na argamassa.

Teor de Fibras de Sisal (%): Proporção de fibras de sisal adicionadas à mistura.

Porosidade Aberta (%): Percentual de porosidade aberta, indicando a quantidade de poros conectados na estrutura da argamassa.

Nos ensaios de condutibilidade térmica, todos os provetes das argamassas com fibras de sisal e/ou agregados reciclados finos apresentaram menores valores de condutibilidade térmica do que os provetes da argamassa de referência (Figura 3). Nos provetes com 100% de ARF e 1% de fibras de sisal, o resultado foi surpreendente, com um valor inferior a 0,60 W/m.k. Com o aumento do teor de fibras de 1% para 2%, houve uma ligeira elevação na condutibilidade térmica.

Como se pode observar na Figura 4, a relação entre a condutibilidade térmica e a porosidade das argamassas mostrou uma relação linear significativa ($R^2 = 0.88$).

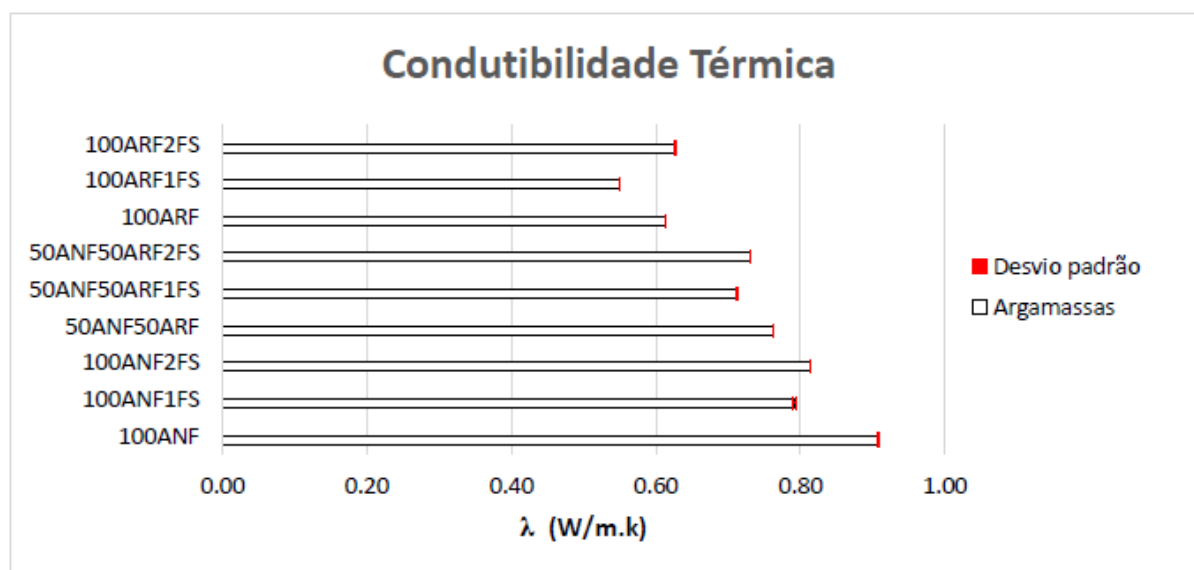


Figura 3- Resultados da condutibilidade térmica

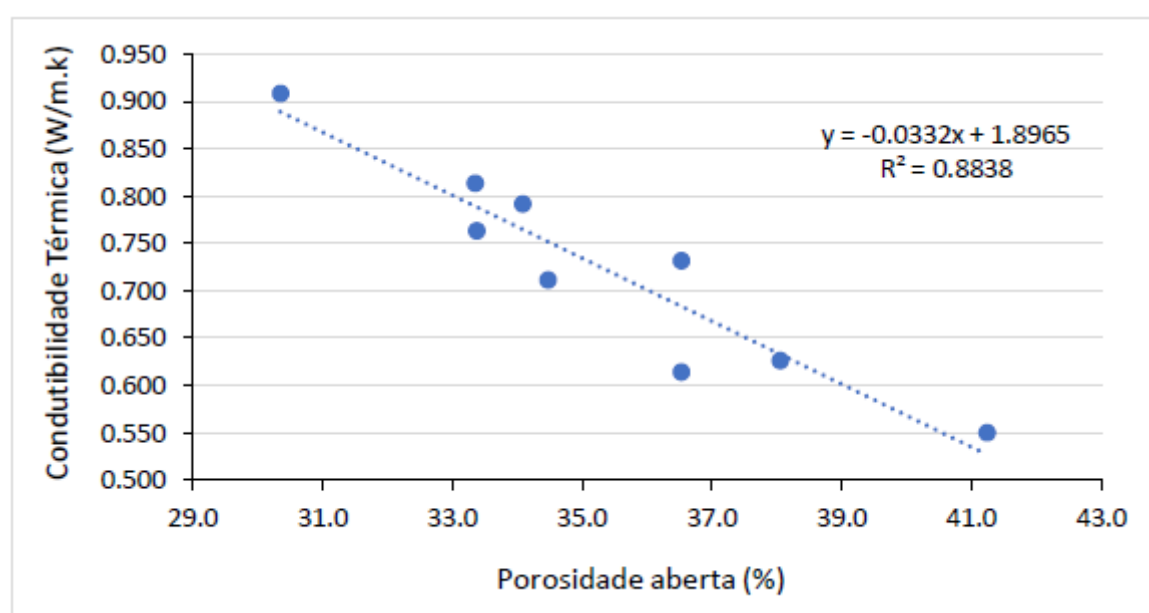


Figura 4- Relação entre a condutibilidade térmica e a porosidade aberta

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desta investigação foi caracterizar argamassas com Resíduos de Construção e Demolição (RCD) reforçadas com fibras de sisal. Foram produzidas argamassas com um traço de 1:3, padrão nas construções. Os materiais de RCD foram recolhidos de uma demolição na freguesia do Lavradio, no Concelho do Barreiro.

Na campanha experimental, foram realizados ensaios de granulometria dos agregados naturais, obtendo-se posteriormente uma granulometria

semelhante para os agregados reciclados (AR). Sobre os ensaios aos agregados, refira-se que a baridade dos AR foi 16,6% inferior à dos AN.

Sobre as propriedades das argamassas no estado fresco, começou-se por determinar a relação água/ligante necessária para cada argamassa, obtendo-se uma consistência trabalhável. A massa volúmica aparente diminuiu com o aumento dos teores de fibras de sisal, devido à sua reduzida massa volúmica. Por sua vez, o teor de ar variou entre 16,5% e 23%, com uma média de 19,5%, considerado aceitável.

Relativamente aos resultados obtidos nos ensaios mecânicos realizados às diversas argamassas, refira-se que as fibras de sisal melhoraram a resistência à tração e à compressão. Nas argamassas com AR, a introdução de 2% de fibras de sisal resultou em uma melhoria significativa na resistência mecânica. No ensaio de arrancamento (pull-off), os resultados não foram satisfatórios, possivelmente devido à altura inadequada de lançamento da argamassa.

Nos ensaios de capilaridade, verificou-se que a introdução de AR aumentou significativamente a absorção de água, enquanto as fibras de sisal aumentaram a absorção nas argamassas com AN, mas diminuíram nas argamassas com AR. Por sua vez, a porosidade aberta das argamassas aumentou com a introdução de fibras de sisal e AR, tendo este acréscimo atingido 25% para as argamassas com 2% de fibras de sisal e 100% de AR.

Nos ensaios de condutibilidade térmica, verificou-se que a utilização de AR e fibras de sisal diminuiu esta propriedade devido à maior porosidade das argamassas e à composição dos AR, que inclui materiais cerâmicos.

Após análise dos resultados obtidos ao longo de toda a campanha experimental, conclui-se que a utilização de fibras de sisal, para além de permitir a utilização de um material natural abundante, pode melhorar as características mecânicas e térmicas das argamassas, sem acréscimos consideráveis de custo. As argamassas com AR apresentaram bons resultados, superando expectativas iniciais em ensaios mecânicos e de condutibilidade térmica, demonstrando que é possível usar AR em remodelações, desde que se controle rigorosamente a composição dos AR. Questões de sustentabilidade são cada vez mais analisadas, mas ainda não são amplamente aplicadas na prática. Esta investigação demonstrou que é possível tratar e reutilizar RCD na construção civil, minimizando impactos ambientais.

Importa ressaltar que este estudo é inovador e precisa de ser desenvolvido em futuras investigações. Desenvolver esta linha de investigação ajudará a expandir o conhecimento sobre o uso de materiais reciclados e naturais na construção civil, promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

DREW, L. J., MURRAY, D. K., DICKENS, M. H. **Environmental Geology**. Springer. 2004.

LANGER, W. H. A **General Overview of the Technology of In-Stream Mining of Sand and Gravel Resources**. U.S. Geological Survey Open-File Report 93-507. 1993.

LEITE, M. B. **Avaliação de Impactos Ambientais e Econômicos da Reciclagem de RCD**. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2001.

PEREIRA, C. , SILVA, M. E., OLIVEIRA, L. F. Recycling of Construction and Demolition Waste. **Waste Management Journal**, v.24, n.4, 2004.

PINTO, J. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição**. Instituto Superior Técnico (IST). 2005.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **National Aggregates Database**. 1999.

VÁZQUEZ, E., HENDRIKS, C., JIN, W. Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Concrete **Industry. Materials and Structures**, v.39, n.6, 2006.

WILBURN, D. R.; GOONAN, T. G. **Aggregates from Natural and Recycled Sources**. U.S. Geological Survey Circular 1176. 1998.