

Viabilidade da adição do papel reciclado para fabricação de peças de pavimentação**Feasibility of using recycled paper in concrete for paving pieces**

DOI:10.34117/bjdv6n5-385

Recebimento dos originais:23/04/2020

Aceitação para publicação:19/05/2020

Paulo Rafael Nunes e Silva Albuquerque

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Instituto de Tecnologia - R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA

E-mail: pauloalbuquerque@gmail.com

Moisés de Araujo Santos Jacinto

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Instituto de Tecnologia - R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA

E-mail: moisesaraujosantosjacinto@gmail.com

Mariana de Sousa Prazeres

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Instituto de Tecnologia - R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA

E-mail: marianasprazer@gmail.com

Bruna da Costa Silva

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Instituto de Tecnologia - R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA

E-mail: brunaldacs@gmail.com

Jayron Alves Ribeiro Junior

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rod. Br 422 - Km 13, Canteiro de Obras - UHE Tucuruí, S/N, Tucuruí, PA

E-mail: jayronribeiro@gmail.com

Camilla Gomes Arraiz

Pós-graduanda em estruturas de concreto armado e fundações

Instituição: Instituto Brasileiro de Educação Continuada (INBEC)

Endereço: Av. Senador Vitorino Freire, 01, Qd. 41, edifício São Luís Offices, sala 106.

Areinha. São Luís - MA.

E-mail: camillaarraiz@hotmail.com

Marcos Henrique Costa Coelho Filho

Pós-graduando em Master Bim: ferramentas de gestão e projeto

Instituição: Instituto de Pós-graduação e Graduação (IPOG)

Endereço: shopping rio anil - Piso G1, Av. São Luís Rei de França, 8 - loja 14 - Turu. São Luís – MA.

E-mail: marcoshcfilho@hotmail.com

Thainá Maria da Costa Oliveira

Mestrando no Programa de Pós-graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rod. Br 422 - Km 13, Canteiro de Obras - UHE Tucuruí, S/N, Tucuruí, PA

E-mail: thaina_c.oliveira@hotmail.com

RESUMO

O concreto é um material de construção civil proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados, água e por vezes, aditivos. Para melhorar suas propriedades, podem ser adicionados materiais, como o papel, que também é produzido em larga escala. Assim, sua disponibilidade para a reciclagem e limitação para a quantidade de ciclos torna-o um material viável para uso na construção civil, eliminando a quantidade excessiva de resíduos, integrando um método sustentável de produção. Logo, a pesquisa em questão objetiva avaliar as propriedades do concreto convencional e concreto simples adicionado de papel reciclado, incluindo o estudo da viabilidade técnica de uso de peças de concreto para pavimentação. O concreto do estudo em questão foi analisado através de ensaios laboratoriais na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Foram realizados 3 estudos. O primeiro utilizou-se de um traço 1:2:3:0,6 com adição de papel triturado em forma de pelotas em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento. O segundo utilizou-se de um traço 1:2:3:0,45, porém com a porcentagem que obteve os melhores resultados no estudo I, que foi a de 20%. Ambos com confecção de corpos de prova cilíndrico. E por fim, o terceiro estudo, que se utilizou do mesmo traço do estudo II e mesma porcentagem de papel, porém com a confecção de blocos de concreto. Os ensaios realizados foram o de resistência à compressão, absorção e consistência. Depois de realizados os ensaios, observou-se que a resistência aumentou a medida que a porcentagem de papel era crescente, a absorção não aumentou significativamente a ponto de afetar na perda da resistência e a consistência foi ideal para a produção das peças. Assim, constatou-se que o uso do papel é completamente viável para produção de peças de concreto para pavimentação

Palavras-chave: *Concreto; Propriedades; Papel; Pavimentação; Sustentável.*

ABSTRACT

Concrete is a building material derived from mixing, in appropriate proportion, binders, aggregates, water and sometimes additives. To improve its properties, materials such as paper, which is also produced on a large scale, can be added. Thus, its availability for recycling and limitation on the amount of recycling makes it a viable material for use in construction, eliminating excessive waste and integrating a sustainable method of production. Therefore, the research in question aims to evaluate the properties of conventional concrete and plain

concrete added from recycled paper, including the study of the technical feasibility of using concrete paving pieces. The concrete of the study in question was analyzed through laboratory tests at the State University of Maranhão (UEMA). Three studies were performed. The first used a 1: 2: 3: 0.6 stroke with the addition of shredded pellet paper in quantities of 5%, 10%, 15% and 20% of the cement volume. The second used a 1: 2: 3: 0.45 trait, but with the percentage that obtained the best results in study I, which was 20%. Both made of cylindrical specimens. And finally, the third study, which used the same trait of study II and the same percentage of paper, but with the making of concrete blocks. The tests performed were compressive strength, absorption and consistency. After the tests were performed, it was observed that the strength increased as the percentage of paper increased, the absorption did not increase significantly to the point of loss of strength and the consistency was ideal for the production of parts. Thus, it was found that the use of paper is completely viable for the production of concrete paving pieces.

Keyword: *Concrete; Properties; Paper; Paving; Sustainable.*

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados e água. Este material está presente em praticamente todas as construções civis, sejam elas praças, edifícios, casas ou até mesmo rodovias. Cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto são produzidas, de acordo com Pedroso (2009), o que resulta em aproximadamente em um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante ao ano, valor inferior apenas ao consumo de água. E ainda, segundo a Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) (2009), no Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos.

IBRACON (2009) afirma ainda que o concreto é uma pedra artificial que se molda à criatividade construtiva do homem, que foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido tem resistência similar às das rochas naturais e quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos variados. Dessa forma, existem inúmeros motivos pelos quais o concreto é um dos produtos mais utilizados, entre eles: sua resistência à água. O concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água. Além da disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seus baixos custos comparados a outros materiais como alumínio, aço e vidro.

A grande disponibilidade dos materiais que formam o concreto e a grande disponibilidade para inúmeros usos deixam claro que o concreto é solução para diversos elementos construtivos, entre eles, peças de concreto para pavimentação. As peças de concreto

para pavimentação são peças maciças pré-moldadas em concreto e frequentemente utilizadas em pavimentação de ruas, áreas externas e calçamentos como calçadas e até praças públicas. De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação, a resistência característica à compressão aos 28 dias do bloco deve ser igual ou superior a 35 Mpa para solicitação de veículos leves, veículos comerciais de linha e tráfego de pedestres.

Vale ressaltar que a alta demanda de concreto implica em estudos voltados para a melhoria das características físico-químicas do material, e mais recentemente benefícios nos aspectos econômicos e ambientais, por meio de aditivos provenientes de soluções sustentáveis.

A capacidade de exploração dos recursos naturais no Brasil, pela indústria de papel e celulose cresceu de maneira exponencial, devido às melhorias na tecnologia implantada no país e aos investimentos realizados na área, ocasionando assim, uma crescente preocupação em torno dos impactos ambientais causados pelo setor, sendo estes o esgotamento do recurso utilizado, a produção e o descarte excessivo do produto final, sem uma destinação adequada.

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira das Árvores, apesar da retração volumétrica de 0,4% da produção brasileira de papel de 2015 em comparação com o ano antecedente, a produção anual totalizou 10,4 milhões de toneladas, mantendo o país na nona colocação no ranking mundial de produtores de papel, posição semelhante também ao de maiores consumidores de papel (IBÁ, 2018).

Com elevados índices de produção e consumo, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa viável econômica e socialmente é a reciclagem deste papel, visando à preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros. Atualmente, a prática de reciclagem está difundida pelo Brasil, mas ainda existem delimitações como no caso do papel, para a quantidade de reciclagem permitida, em comparação com os outros materiais recicláveis. São estimadas 4 a 6 ciclos de processamento para alcançar o limite da reciclagem, este sendo motivado por conta das fibras do papel sofrerem alterações no comprimento e perda de material fibroso, comprometendo suas características físicas.

Alguns estudos sobre o referido assunto já foram realizados no Brasil. Buson (2009) utilizou as fibras do papel kraft como componente de blocos de terra compactados (BTC). Em sua pesquisa considerou o papel kraft como uma alternativa econômica-sustentável para a produção de componentes e elementos construtivos. Já Dias (2017), analisou um compósito

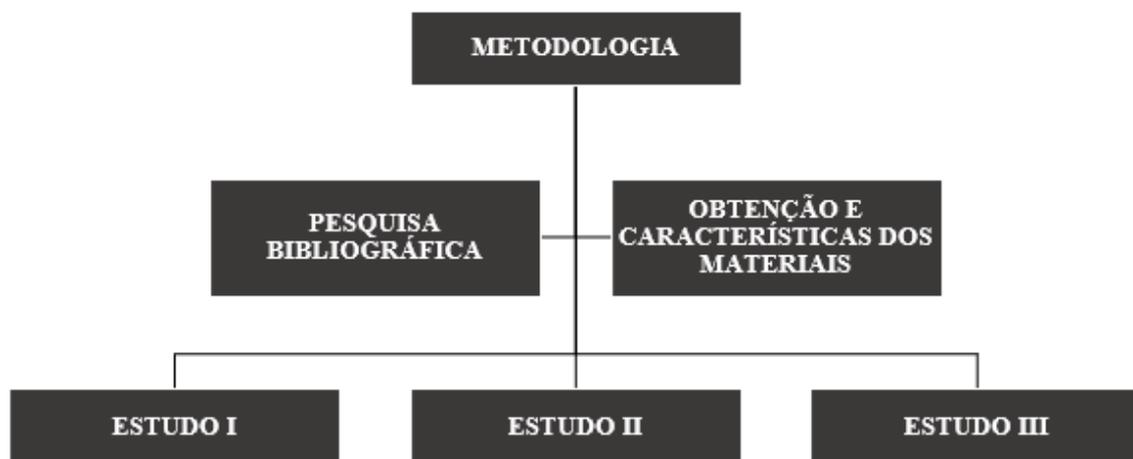
de matriz cimentícia com adição de fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento e argamassa, constatando também que esta adição foi um método sustentável eficiente que agregou melhora nos resultados das propriedades da matriz cimentícia.

Desse modo, como visto anteriormente, o papel é abundante no Brasil, e sua disponibilidade para a reciclagem e limitação para a quantidade de ciclos torna-o um material viável para uso na construção civil, visto que caso seja utilizado como uma adição para peças de concreto para pavimentação eliminará a quantidade excessiva de resíduos, integrando um método sustentável de produção.

2 METODOLOGIA

Com a finalidade de alcançar o objetivo do artigo, dividiu-se a metodologia em 7 etapas, sendo elas: pesquisas bibliográficas, obtenção e caracterização dos materiais, obtenção e processo de reciclagem da matéria prima, estudo I, II e III e atividades laboratoriais. Assim, segue o desenho esquemático abaixo (figura 1).

Figura 1 – Desenho esquemático da metodologia apresentada (Autor (2018)).



2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta é a etapa da metodologia na qual se estabelece a coleta bibliográfica em acervos técnicos, pesquisas em teses de TCC, mestrados, doutorados, além de artigos científicos, entre outros trabalhos relacionados ao assunto abordado. Buscou-se também algumas normas para elaborações tanto dos ensaios de caracterização dos materiais quanto para realização de ensaios relacionados às propriedades do concreto.

2.2 OBTENÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Sabe-se que para a fabricação de concreto, é necessário adquirir inúmeros materiais de construção para estudo, entre eles, tem-se: cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água. A escolha desses materiais é de extrema importância para o resultado final de todo processo. Logo, para a produção de concreto destinado à fabricação de peças de concreto para pavimentação, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento: A NBR 7211:2005 informa que o cimento que será utilizado na fabricação das peças de concreto para pavimentação deve respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Logo, optou-se por utilizar o cimento do tipo CP- II Z 32 (com adição de material pozolânico), que é empregado em obras civis em geral, também na produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento
- Agregado graúdo: para a produção das peças, é conveniente escolher britas com diâmetros menores, facilitando o processo de compactação e preenchimento dos vazios, logo, escolheu-se a brita zero.
- Agregado miúdo: o agregado miúdo utilizado não deve conter grãos de um único tamanho, ou seja, deve ter agregados com boa distribuição granulométrica. Deve-se, entretanto, evitar areias grossas que dificultam a compactação. Logo optou-se por utilizar a areia fina.
- Água: a água para a fabricação das peças não deve possuir substâncias deletérias que possam prejudicar as reações de hidratação do cimento.

Destaca-se que os materiais foram adquiridos em uma loja de construção civil na cidade de São Luís – MA. Excetuando a água, que foi adquirida na própria Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

2.3 OBTENÇÃO E PROCESSO DE RECICLAGEM DA MATÉRIA PRIMA

O principal objetivo deste projeto é analisar o comportamento do concreto com a adição do papel depois que ele passou por um processo de reciclagem, além de analisar a viabilidade de uso para peças de concreto para pavimentação. Dessa forma, o papel será inserido no concreto em forma de pelotas em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento, e assim, serão analisadas a resistência à compressão, absorção e consistência. Porém, para que o papel seja inserido, ele passou por algumas etapas de reciclagem.

O papel que foi utilizado para fabricação de concreto com objetivo de analisar suas características foi o papel branco no formato A4 utilizado em escritórios (que foi reaproveitado). Este papel inicialmente passou pelo processo de corte por meio de uma máquina convencional que o cortou em tiras estreitas (figura 2).

Figura 2 – (A) Máquina utilizada para cortar o papel em tiras (B) Papeis cortados em forma de tiras (Autor (2018)).



Em seguida, o papel foi triturado com ajuda de água em um liquidificador convencional (figura 3) até que virasse uma pasta homogênea.

Figura 3 – Processo de trituração do papel. (A) Papel em tiras no liquidificador (B) Adição de água para posterior trituração (Autor (2018)).



Logo após, a pasta foi peneirada até que toda a água presente saísse para que não afetasse a relação água-cimento do concreto. É válido destacar que como o papel possui uma grande capacidade de absorção de água, depois que foi peneirado houve a necessidade de

deixar secando ao sol até que 100% de sua água fosse retirada e ele se assemelhasse a um agregado miúdo em formato de pelotas (figura 4).

Figura 4 – Papel em formato de pelotas pronto para ser adicionado ao concreto (Autor (2018)).



2.4 ESTUDO I

Destaca-se que a produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com relação água cimento de 0,6 (traço comum utilizado em outras pesquisas). A produção do concreto adicionado de papel se deu com a adição do papel triturado em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento. Depois de produzidos os corpos de prova cilíndricos padrão e adicionados de papel, os resultados foram analisados quanto a resistência à compressão axial, absorção e consistência, e posteriormente o estudo II foi iniciado. As produções iniciais destes corpos de prova serviram de base para o aprofundamento do estudo II e estudo III.

Sabe-se que uma das características do concreto utilizado na fabricação de peças é a capacidade de se desmoldar logo após a moldagem, o chamado concreto virado, que foi escolhido (exposto no estudo III) devido a rapidez na produção. Logo, o estudo I teve grande importância quanto ao comportamento da consistência do concreto. Depois de analisada essa propriedade, conclusões importantes foram feitas, como por exemplo a escolha de um novo fator água cimento no estudo II e III para que a desmoldagem ocorresse logo após a moldagem, sem que prejudicasse o formato da peça. Assim, a produção seria mais eficaz.

2.5. ESTUDO II

Neste segundo estudo, foram fabricados corpos de prova cilíndricos com concreto padrão e corpos de prova cilíndricos com concreto adicionado de papel em forma de pelotas (depois de ter passado pelo processo de reciclagem). Porém, a produção do concreto adicionado de papel não se deu mais com 5%, 10%, 15% e 20% de papel do volume de cimento, mas sim, com a porcentagem que obteve resultados mais favoráveis no primeiro estudo, correspondente a 20%, como será melhor detalhado posteriormente nos resultados.

Destaca-se ainda que a produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com relação água cimento de 0,45. A escolha da relação água cimento ocorreu com o objetivo de analisar o comportamento do concreto com papel em condições de umidade diferentes, além de que com a escolha deste fator, quando foi feita a produção das peças (estudo III), estas puderam ser desmoldados logo após a moldagem, aumentando assim, a rapidez na produção, assemelhando-se ainda mais com concreto virado. A seguir, alguns corpos de prova sendo moldados (figura 5).

Figura 5 – Corpos de prova cilíndricos com traço 1:2:3:0,45 já moldados (Autor (2018)).



2.6. ESTUDO III

Neste terceiro estudo, foram fabricadas peças de concreto com concreto padrão e com concreto adicionado de papel em forma de pelotas (depois de ter passado pelo processo de reciclagem) para analisar suas características, uma vez que o objetivo do trabalho é fabricar peças de concreto para pavimentação com concreto padrão e adicionado de papel, além de realizar os ensaios de resistência à compressão, absorção e consistência com o intuito de

analisar a viabilidade para uso. Lembrando que a porcentagem de papel adicionada foi a mesma do estudo II (20%). Algumas das peças podem ser visualizadas na figura 6 a seguir.

Figura 6 – Peças de concreto com 20% de papel (Autor (2018)).



2.7 ATIVIDADES LABORATORIAIS

Esta é a etapa na qual foram feitos todos os ensaios laboratoriais necessários para a obtenção dos resultados finais desta pesquisa. Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório de Concreto e Materiais (LABCOM) da UEMA, situado no Núcleo Tecnológico de Engenharia (NUTENGE), ligado ao Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), pois possuem todos os materiais e equipamentos fundamentais para a confecção dos corpos de prova e a definição de seus parâmetros.

2.7.1 Ensaios de caracterização dos matérias

Para que os materiais sejam devidamente misturados e dosados para alcançarem algum resultado, é necessário a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, que irão indicar as características físicas de cada componente do concreto. Entre os ensaios realizados nessa pesquisa, tem-se: ensaio da determinação da massa específica do agregado miúdo, do cimento, e do agregado graúdo, ensaio da umidade da areia e ensaio de granulometria do agregado miúdo e graúdo (figura 7).

Figura 7 – (A) Ensaio da massa específica do agregado miúdo (B) Ensaio da massa específica do cimento (C) Ensaio da massa específica do agregado graúdo (D) Ensaio de umidade da areia (E) Ensaio de granulometria (Autor (2018)).



2.7.2 Dosagem

Com a finalidade de alcançar uma melhor precisão nos resultados, foram produzidos 131 moldes de concreto, sendo 77 corpos de prova cilíndricos e 54 peças de concreto para pavimentação (quadro 1). Os dias de cura úmida foram 7, 14, 21 e 28 dias, com traço experimental de 1:2:3 com duas relações a/c diferentes. Lembrando que dos 131, 15 corpos de provas do estudo I foram utilizados para o ensaio de absorção, além de 6 do estudo II e 6 do estudo III. Os demais foram utilizados no ensaio de resistência à compressão axial.

Quadro 1 – Produção total de moldes de concreto (Autor (2018)).

Estudo	Tipo de produção	Quantidade de material fabricado	
		Ensaio de absorção	Ensaio de resistência
I	Corpos de prova cilíndricos	15	40
II	Corpos de prova cilíndricos	6	16
III	Peças de concreto para pavimentação	6	48

2.7.3 Produção do concreto

Depois de determinada a massa de cada material, eles foram pesados e separados para posteriormente iniciar a mistura na betoneira (figura 8). Lembrando que o procedimento foi realizado de acordo com a NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

Figura 8 - (A) Materiais pesados (B) Materiais sendo levados a betoneira (Autor (2018)).



2.7.4 Moldagem e desmoldagem dos corpos de provas cilíndricos e de peças de concreto para pavimentação.

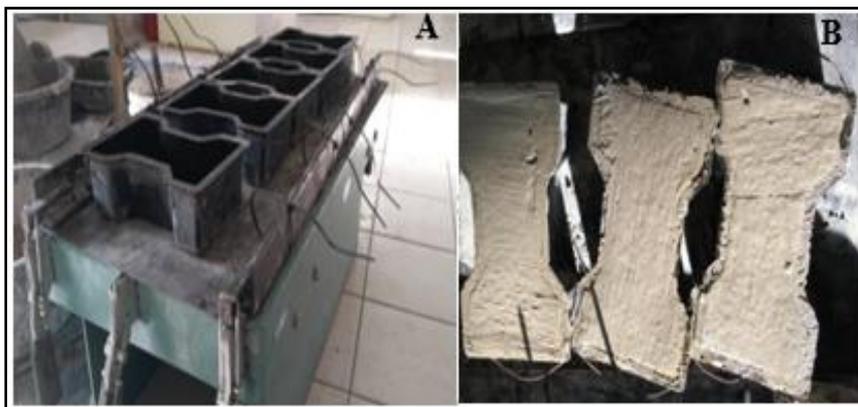
O processo de moldagem dos corpos de prova cilíndricos (figura 9) acompanhou os procedimentos da NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, bem como o processo de moldagem das peças de concreto (figura 10), já que estes não possuem uma norma que especifica o processo de fabricação. Foram utilizados moldes metálicos para a produção dos corpos de prova cilíndricos e moldes de plástico para a produção das peças de concreto para pavimentação.

O modo de adensamento do concreto foi alternando na medida em que a consistência do material também ia alternando com a adição do papel. No estudo I (onde se utilizou unicamente moldes metálicos cilíndricos), por exemplo, alguns moldes foram adensados de forma manual, pois apresentaram uma consistência e trabalhabilidade que facilitassem a moldagem manual, já outros necessitaram do adensamento mecânico, com a ajuda da mesa vibratório pertencente ao LABCOM. Os estudos II e III, utilizaram o adensamento mecânico. Lembrando que no estudo II ocorreu a produção de corpos de prova cilíndricos e o estudo III, de blocos, ambos com traço 1:2:3:0,45.

Figura 9 - Concreto já adicionado nos moldes metálicos (Autor (2018)).



Figura 10 - Execução e moldagem das peças. (A): mesa vibratória e formas de plástico para as peças de concreto (B): concreto na forma. (Autor (2018)).



2.7.5 Ensaio de resistência à compressão axial

A resistência à compressão é a capacidade do concreto de suportar determinada força axial aplicada sobre ele. Força esta encontrada minutos antes do rompimento. Assim, para determinar esta força é realizado o ensaio de resistência à compressão axial. O ensaio é realizado de acordo com os procedimentos e equipamentos mencionados na NBR 5739:2015 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (figura 12) e na NBR 9781:2013 para blocos de concreto (figura 11). O ensaio foi executado na Prensa Eletrohidráulica pertencente ao LABCOM, de marca SOLOTEST, modelo ST 20000, capacidade máxima de carga de 200 toneladas.

Figura 11- Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (Autor (2018)).



Destaca-se que a máquina disponível no LABCOM para a realização deste ensaio é destinada ao rompimento de corpos de prova cilíndricos, portanto, passou por uma adaptação com a finalidade de romper as peças de concreto para pavimentação (figura 12).

Figura 12 - Ensaio de resistência à compressão das peças (Autor (2018)).



2.7.6 Ensaio de absorção

O ensaio de absorção foi realizado em corpos de provas cilíndricos e em peças de concreto para pavimentação. Para que o ensaio ocorresse, seguiu-se os procedimentos exigidos pelas seguintes normas: NBR 9778:2005 - Argamassa e concreto endurecidos e NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaio.

2.7.7 Ensaio de consistência

Para a realização desse ensaio, seguiu-se os procedimentos exigidos pela NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O ensaio é realizado com concreto no estado fresco, logo, imediatamente após a fabricação do concreto na betoneira.

O ensaio de consistência (figura 13) foi realizado 07 vezes com o objetivo de analisar o concreto padrão e o adicionado de papel em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento.

Figura 13- Medição do abatimento (Autor (2018)).



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ESTUDO I

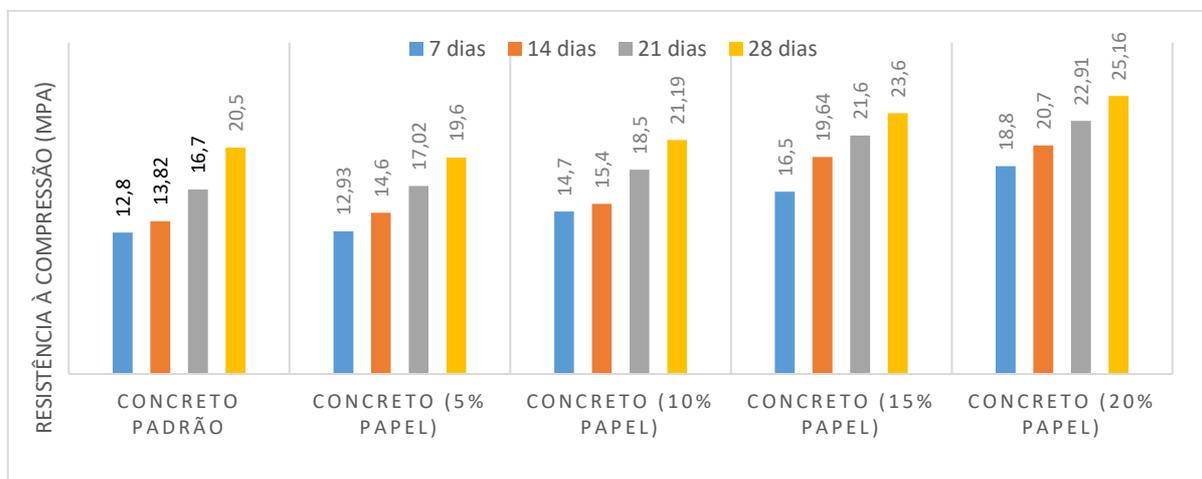
3.1.1 Resistência a compressão

Pelos resultados apresentados na tabela 1 e no gráfico 1 observa-se que com passar dos dias, a resistência do concreto aumenta e nesse caso, aumentou ainda mais devido a influência do papel. Analisando o gráfico, observa-se que aos 28 dias os resultados encontrados foram os maiores se comparados com os outros resultados. E mais, a maior taxa de crescimento foi de 11,37% e ocorreu no intervalo do concreto 15% para concreto 20%. Assim, com 20% estes valores foram os máximos encontrados, portanto para este percentual, a utilização do concreto seria ideal em relação à resistência.

Tabela 1 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I (Autor (2018)).

Idade (dias)	Resistência (MPa)				
	Concreto Padrão	Concreto (5% papel)	Concreto (10% papel)	Concreto (15% papel)	Concreto (20% papel)
7 dias	12,8	12,93	14,7	16,5	18,8
14 dias	13,82	14,6	15,4	19,64	20,7
21 dias	16,7	17,02	18,5	21,6	22,91
28 dias	20,5	19,6	21,19	23,6	25,16

Gráfico 1 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I (Autor (2018)).



Os dados confirmam que a adição do papel realmente foi essencial para o ganho de resistência à compressão do concreto. Excluindo assim a hipótese de aumento da resistência devido apenas a boa compactação ou até mesmo ao bom acabamento das superfícies dos corpos de prova cilíndricos.

Em relação a adição do papel reciclado, possivelmente, as melhorias obtidas com o emprego dele para os traços de 5%, 10%, 15% e 20% estejam ligadas ao fato de que o material, à medida que foi passando pelo processo de reciclagem, teve sua dimensão diminuída. Esta dimensão foi diminuída tanto pelo processo de picotagem, quanto pelo processo de betonagem na fabricação do concreto. Logo, o papel foi adicionado em forma de pelotas de granulometria pequena e junto a essas pelotas, apresentou como resíduo, o seu pó, permitindo assim na hora da mistura um melhor empacotamento com as partículas de cimento e com o agregado graúdo,

ocasionando um maior fechamento dos vazios, conseqüentemente uma maior compacidade à microestrutura da pasta cimentícia, aumentando assim a resistência mecânica.

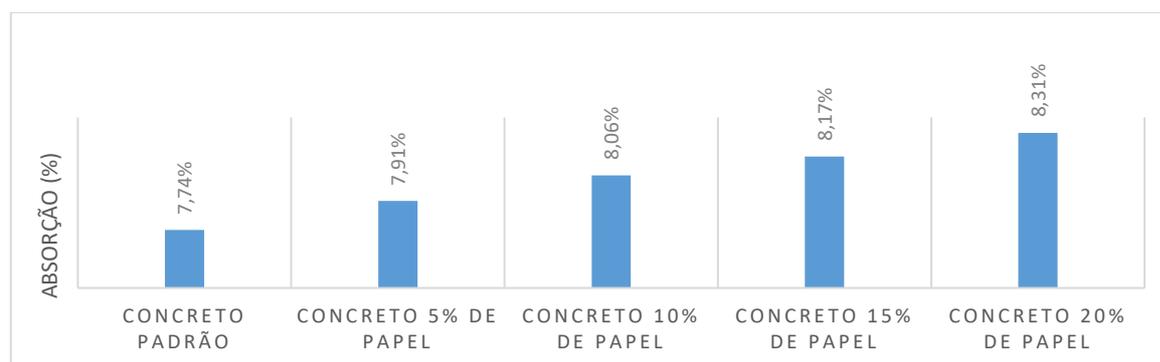
Outro fato que pode ser relevante para explicar o aumento da resistência é que como o papel é um material absorvente, ao longo do tempo o concreto vai perdendo água para o meio. À medida que o concreto perde água, o papel vai alimentando as partículas de cimento com a água absorvida. Dessa forma, as partículas de cimentos são ainda mais hidratadas, favorecendo assim para o aumento da resistência.

3.1.2 Absorção

De acordo com o gráfico 2, observa-se que a medida que a quantidade de papel aumenta, a absorção aumenta. Assim, percebeu-se que o papel é um material bastante absorvente. Isso ocorre devido a sua composição. Ele possui como principais componentes as fibras celulósicas, que por sua vez, apresentam características hidrofílicas, ou seja, apresentam afinidade com as moléculas de água. A característica hidrofílica entre a celulose e a água se dá devido a presença das ligações químicas chamadas de pontes de hidrogênio.

Apesar de o aumento da absorção do concreto padrão (formado por areia, cimento, água e brita) ser diretamente associada à perda da resistência, na pesquisa em questão observou-se que a adição do papel reciclado não afetou na perda desta propriedade. Nota-se que ocorreu um aumento na absorção quase que desprezível de apenas 0,57% do concreto 20% de papel em relação ao concreto padrão.

Gráfico 2 - Absorção para o estudo I (Autor (2018)).



3.1.3 Consistência

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios para todos os tipos de concreto produzidos neste estudo. Analisando a tabela é possível afirmar que a adição de papel resulta

na diminuição do abatimento. A diminuição do abatimento causa perda de trabalhabilidade que ocorreu devido a presença das fibras celulósicas do papel. Estas fibras aumentam a aderência da mistura, contribuindo assim, para obter uma mistura com maior consistência e viscosidade

Portanto, destaca-se ainda que o concreto no estado fresco de 20% ficou visualmente próximo, mas não semelhante ao concreto utilizado (concreto virado) para fabricação de blocos, o que torna o estudo ainda mais viável.

Tabela 2 - Slump Test para o estudo I (Autor (2018)).

SLUMP TEST	
%	Slump (cm)
0%	15
5%	6
10%	3,5
15%	2,5
20%	2

Após a análise das três propriedades do concreto (resistência à compressão, absorção e consistência) para o estudo I, observou-se que o concreto em porcentagem de 20% foi o que obteve melhores resultados, apesar da perda da trabalhabilidade, que pode ser melhorada com o uso de aditivos, como os plastificantes, por exemplo. A porcentagem apresentou uma maior resistência à compressão e uma absorção satisfatória. Salienta-se que até a quantidade máxima analisada no estudo de 20% de papel, a resistência aumentou, chegando-se a conclusão que ocorreu a hidratação de todas as partículas do cimento para esta quantidade de papel.

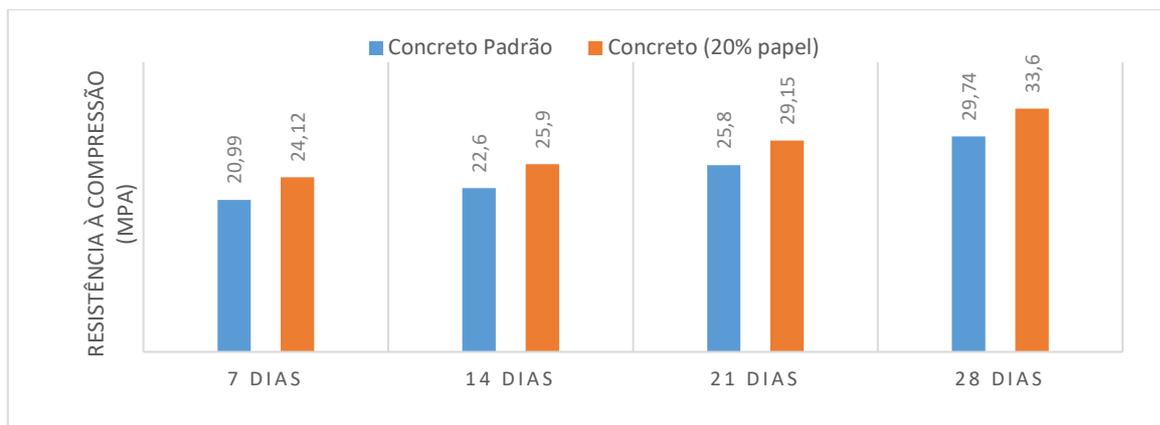
Assim, para o estudo II, diminui-se a relação água cimento para 0,45 com o objetivo de analisar o comportamento do concreto com a adição do papel com outras quantidades de água na mistura, além de que com a redução do fator, deduz-se que o concreto no estado fresco será semelhante àquele utilizado na fabricação de blocos de concreto virado.

3.2 ESTUDO II

3.2.1 Resistência a compressão

No estudo 2 foram analisados apenas a resistência do concreto padrão com o concreto de 20% de papel em corpos de provas cilíndricos. Observando o gráfico 3 abaixo, verifica-se que a resistência aumentou com a adição do papel. Salienta-se que os valores foram maiores que os valores do estudo 1, pois a relação água cimento diminuiu.

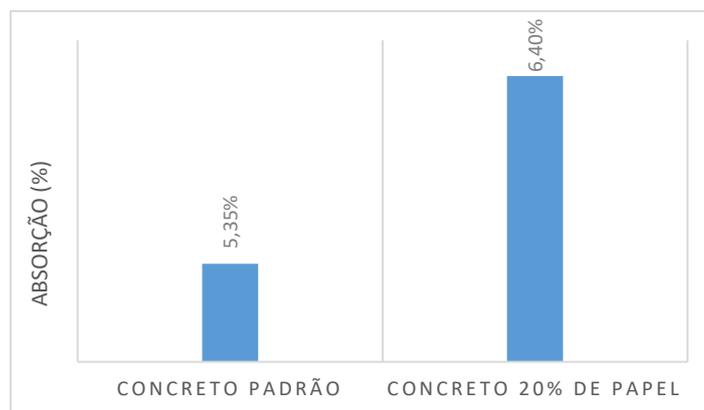
Gráfico 3 – Resistência à compressão para o estudo I (Autor (2018)).



3.2.2 Absorção

A análise dos resultados obtidos demonstra que o concreto padrão (sem adição do papel) apresentou uma absorção média de 5,35% aos 28 dias (gráfico 4). Por outro lado, o concreto com adição de 20% de papel apresentou uma absorção de 6,40%. Sendo assim, houve uma diferença de apenas 1,05% de absorção entre os materiais analisados. Observa-se, portanto, que com a diminuição do fator a/c ocorreu a diminuição da porcentagem da absorção aos 28 dias se comparado com o fator ac de 0,6, uma vez que este apresentou uma absorção de 8,31% aos 28 dias. Destaca-se, portanto, que com um fator ac de 0,45 e com 20% de adição do papel reciclado, a resistência continuou aumentando, portanto, para esse parâmetro, deduz-se que ocorreu a hidratação de todas as partículas do cimento e o comportamento do concreto foi semelhante ao estudo I.

Gráfico 4 – Absorção para o estudo II (Autor (2018)).



3.2.3 Consistência

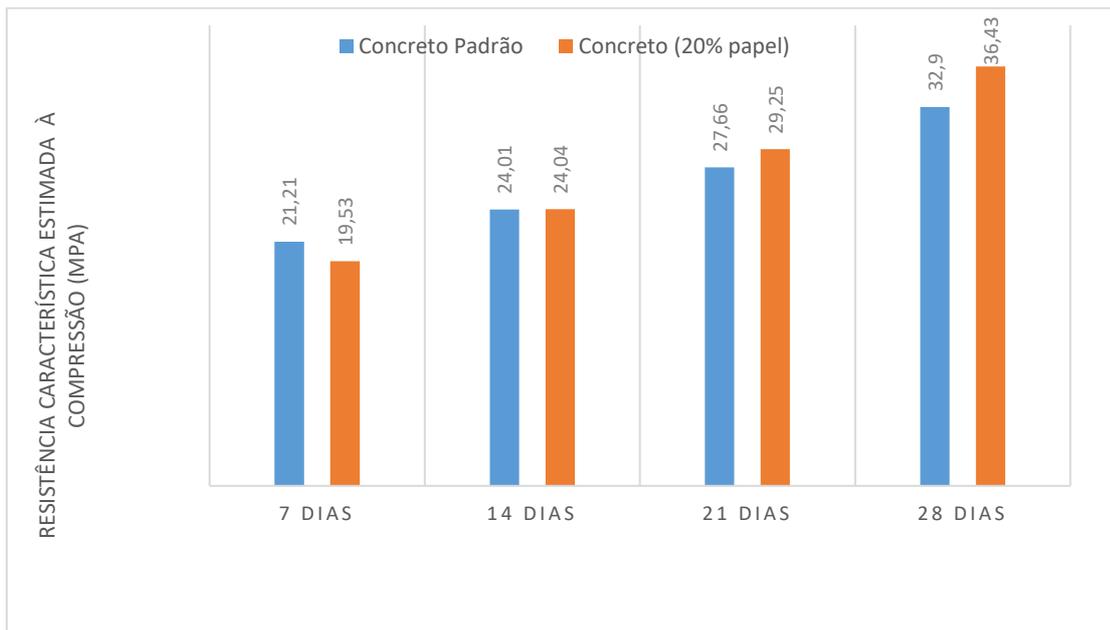
Para o estudo II, o ensaio de abatimento de tronco de cone resultou em um abatimento próximo a 0 cm. Isso ocorreu devido a capacidade de absorção do papel e da aderência das fibras celulósicas, como explicado nos resultados do estudo II. Como houve uma diminuição do fator α_c de 0,6 (estudo I) para 0,45 (estudo II), o Slump no concreto fresco de 20% diminuiu de 2 cm (estudo I) para 0 cm (estudo II). Apesar da perda da trabalhabilidade, o concreto fresco do estudo II foi o que mais se assemelhou com o concreto virado para a produção das peças de concreto para pavimentação, que pode ser analisado nos resultados do estudo III.

3.3 ESTUDO III

3.3.1 Resistência a compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial do estudo III estão apresentados no gráfico 5. Apesar de uma pequena queda aos 7 dias, a resistência aumentou gradativamente com o passar do tempo. Aos 28 dias, por exemplo, a peça fabricada com papel atingiu 36,43 MPa, ultrapassando o limite mínimo de 35 MPa para as solicitações de tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme especificações da ABNT NBR 9781:2013. Assim, esta peça é totalmente viável tecnicamente em relação a sua resistência para uso em locais com tráfego de carros e pedestres.

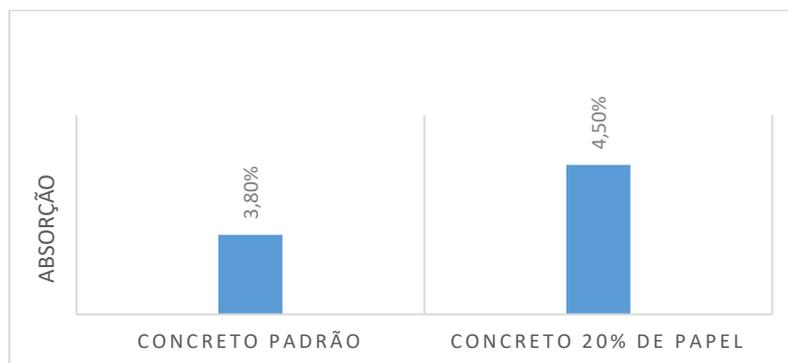
Gráfico 5 – Resistência à compressão para o estudo III (Autor (2018)).



3.3.2 Absorção

Os resultados demonstraram que apesar do aumento da absorção, esse aumento não foi significativo a ponto de reduzir a resistência (gráfico 6).

Gráfico 6 – Absorção para o estudo III (Autor (2018)).



3.3.3 Consistência

Para o estudo III, o ensaio de abatimento de tronco de cone resultou em um abatimento próximo a 0 cm, semelhante ao estudo II. Isso ocorreu devido a capacidade de absorção do papel e a capacidade de promover uma maior aderência entre os materiais da mistura. Apesar da perda da trabalhabilidade, o concreto fresco do estudo II e III foi o que mais se assemelhou com o concreto virado para a produção das peças de concreto para pavimentação.

4 CONCLUSÃO

Este estudo buscou analisar e avaliar a viabilidade técnica do concreto com adição de papel reciclado para peças de concreto para pavimentação, através do comportamento de algumas propriedades do material, como a resistência à compressão axial, a absorção e a consistência. A partir dos estudos elaborados, conclui-se que a adição do papel reciclado no concreto interferiu nos resultados das propriedades analisadas neste artigo.

Dessa forma, aos 28 dias a peça de concreto fabricada com papel reciclado atingiu 36,43 MPa e ultrapassou o limite mínimo de 35 MPa para as solicitações de tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme especificações da ABNT NBR 9781:2013. Assim, esta peça é totalmente viável tecnicamente em relação a sua resistência para uso em locais com tráfego de carros e pedestres.

Para a absorção, à medida que a porcentagem de papel aumentava, a absorção do concreto também aumentava. Apesar de ser um fator que geralmente contribui para redução da resistência, para a pesquisa em questão o aumento da absorção surtiu um efeito contrário. Por possuir uma maior absorção, ocorreu uma melhor aderência entre a pasta e os agregados, melhorando a compactação, permitindo assim o aumento da resistência.

Assim, de acordo com a NBR ABNT 9781:2013, a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não podendo ser aceito nenhum valor individual maior do que 7 %, o que ocorreu com a peça estudada no estudo III. Portanto, em relação a absorção os blocos estão dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Para a consistência do concreto, a adição de papel resulta na diminuição do abatimento. A diminuição do abatimento causa perda de trabalhabilidade que ocorreu devido a presença das fibras celulósicas do papel. Estas fibras aumentam a aderência da mistura, contribuindo assim, para obter uma mistura mais viscosa. Ao aplicar o concreto com 20% de papel reciclado em formas de peças para pavimentação e realizar o desmolde momentos depois da moldagem, o concreto se moldava de forma correta, sem escorregamentos. Dessa forma, a produção de blocos foi mais rápida, além do aumento da resistência. Portanto, apesar da perda da trabalhabilidade, o abatimento não interferiu significativamente na produção das peças.

Assim, os estudos apresentados provaram que a adição de papel reciclado em forma de pelotas é completamente viável para a produção peças de concreto para pavimentação, uma vez que a resistência do bloco aos 28 dias de 36,43 MPa ficou dentro do limite estabelecido pela NBR 9781:2013, que é de 35 MPa. A absorção dos blocos e a análise dimensional também

ficaram dentro dos limites estabelecidos e a consistência foi totalmente eficaz na produção do objeto de estudo.

Vale a pena destacar que a adição do papel, mesmo que em pequenas quantidades, alterou de forma positiva algumas das propriedades do concreto. Esta adição faz com que ocorra um ganho no volume de concreto, trazendo assim, mais economia para as obras civis e conseqüentemente, ainda tem grande importância no que tange à questão ambiental.

O produto, papel branco A4 mostrou-se com grande potencial para ser reciclado e empregado em compostos cimentícios, atribuindo assim uma destinação adequada para ele. Com a reciclagem de um material que geralmente causa um grande volume em lixões, intensificando a poluição, o seu uso acaba sendo uma solução sustentável aceitável e que contribui para a preservação do meio ambiente. Conclui-se também que o processo de reciclagem do papel A4 utilizado nesse trabalho mostrou-se viável (pela sua simplicidade) em escala de laboratório. Outro fator é a produção dos blocos, que foi completamente viável, uma vez que não necessitou de modificações significativas na linha de produção existente.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009

_____. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9781**. Peças de concreto para pavimentação -Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone Rio de Janeiro, 1998.

BUSON M. A. Desempenho e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. Dissertação de Mestrado. 2009. Brasília.

DIAS R. A. Avaliação da interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas. Trabalho de Conclusão de Curso. 2017. Brasília.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Estatísticas da Industria Brasileira de árvores. São Paulo, 2018. Disponível em: < <http://iba.org/pt/> >. Acesso em: 30 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON (2009). Disponível em: < <http://www.site.ibracon.org.br/> >. Acesso em: 30 jan. 2018.