



## ESTUDO DO CONCRETO COM RCC PARA PRODUÇÃO DE PAVERS PARA PAVIMENTAÇÃO NO CAMPUS UFCG-POMBAL

Manoel Domiciano Dantas Filho (\*), Amanda Maria Felix Badú, Fellipe Dalyson Gadelha Silva, Saul Barbosa Guedes, Yago Wiglife de Araújo Maia.

\* Universidade Federal de Campina Grande, manoeffilho97@gmail.com.

### RESUMO

Buscando minimizar os impactos, a construção civil tem agregado valores e práticas construtivas como meios de adequar-se às exigências estabelecidas pela legislação, e uma das ferramentas viáveis é a reciclagem. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do concreto com RCC para produção de pisos intertravados como alternativa para pavimentação do Campus. O concreto foi dosado pelo método da ABCP, levando em consideração a ABNT-9781:2013, que estabelece a resistência mínima à compressão de 35 MPa e absorção de água inferior a 6% para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. As substituições do agregado natural (areia) por RCC foram nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. A análise dos resultados obtidos permitiu observar uma redução nos valores de resistência à compressão e um acréscimo da capacidade de absorção de água do concreto com o aumento da fração do resíduo. Contudo, todos os traços apresentaram resistência à compressão superiores a 35 MPa e absorção inferior a 6%. Portanto, o concreto com RCC tornou-se viável para a produção de *pavers*, sendo uma alternativa sustentável para a gestão dos resíduos e para suprir a demanda do Campus da UFCG – Pombal, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão, Pavimento Intertravado, Concreto, Resíduo da Construção Civil.

### ABSTRACT

Seeking to minimize impacts, civil construction has added values and constructive practices as a means of adapting to the requirements established by legislation, and one of the viable tools is recycling. In this context, this research aims to analyze the mechanical behavior of concrete with CCR for the production of interlocked floors as an alternative for paving the campus. The concrete was dosed by the ABCP method, taking into account the ABNT-9781:2013, which establishes the minimum compressive strength of 35 MPa and water absorption of less than 6% for pedestrian traffic, light vehicles and commercial line vehicles. The substitutions of the natural aggregate (sand) for RCC were in the proportions of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The analysis of the results obtained made it possible to observe a reduction in the values of compressive strength and an increase in the water absorption capacity of concrete with the increase of the waste fraction. However, all traces showed compressive strength above 35 MPa and absorption below 6%. Therefore, the concrete with CCR became viable for the production of pavers, being a sustainable alternative for waste management and to supply the demand of the Campus of UFCG - Pombal, promoting environmental, social and economic benefits.

**KEY WORDS:** Erosion, Interlocked Pavement, Concrete, Construction Waste.

### INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada um dos setores estratégicos para o desenvolvimento econômico e social de um país. Por outro lado, é caracterizada pela geração de impactos ambientais em virtude do consumo dos recursos naturais e da produção de resíduos.

Impulsionada pelo crescimento econômico, populacional e pela expansão urbana, a geração de resíduos transformou-se em um dos grandes problemas contemporâneos, em virtude do volume produzido e da indisponibilidade de locais adequados para sua deposição. Nesse contexto, identificou-se a reciclagem como uma das possíveis ferramentas para transformação desse quadro, uma vez que a indústria da construção civil produz resíduos em todas as suas fases.

Simultaneamente a preocupação ambiental com a destinação dos Resíduos da Construção Civil (RCC), existe a necessidade de controle do processo erosivo nas vias de circulação de pedestres e veículos, bem como nas áreas de acesso principal e estacionamentos do Campus da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Pombal – PB, o qual se encontra em expansão. Convergindo com esse ideal de sustentabilidade e a necessidade de controlar o processo erosivo no Campus, deparamo-nos com a Comissão de Urbanização e Paisagismo, formada por professores, técnicos e alunos do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da UFCG, que pretende promover condições urbanísticas, de infraestrutura e de logística que valorizem a realização das atividades nos espaços disponíveis.



Nesse contexto, apresenta-se a produção de blocos de concreto para pisos intertravados – utilizando os RCC como insumo – de modo a aliar seus benefícios sociais, ambientais e econômicos à pretensão da Comissão de Urbanização e Paisagismo, haja vista ser uma alternativa sustentável não apenas por permitir a economia de recursos econômicos e naturais, mas pela qualidade técnica identificada, demonstrando resistência, durabilidade, conforto térmico, economia de energia elétrica, versatilidade quanto a diversidade de cores e formatos, favorecendo inclusive a arquitetura e, permeabilidade, possibilitando a drenagem da água.

Introduzidos no Brasil na década de 70, os blocos de concreto para pavimento intertravado, também denominados de PPC (Peças Pré-Moldadas de Concreto), ou ainda, *pavers*, são compostos por peças de concreto de cimento Portland, assentadas sobre camadas de areia e travadas por contenção lateral. Em função do simples processo construtivo, apresenta facilidade de instalação e manutenção, sem a necessidade de mão de obra especializada e, possui um custo inferior quando comparado a pavimentos rígidos e flexíveis convencionais. Embora apresentem satisfatório desempenho mecânico com aptidão suficiente para suportar solicitações do tráfego de veículos pesados, a maior demanda deste tipo de pavimento é para aplicação em áreas de trânsito de pedestres e, ainda, para tráfego de veículos leves (FERNANDES, 2016).

Face ao exposto, a presente pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do concreto para produção de pisos intertravados no Campus Pombal da UFCG, a partir da substituição do agregado miúdo natural (areia) por resíduo da construção civil como matéria prima alternativa.

### OBJETIVOS

Face ao exposto, a presente pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do concreto para produção de pisos intertravados no Campus Pombal da UFCG, a partir da substituição do agregado miúdo natural (areia) por resíduo da construção civil como matéria prima alternativa

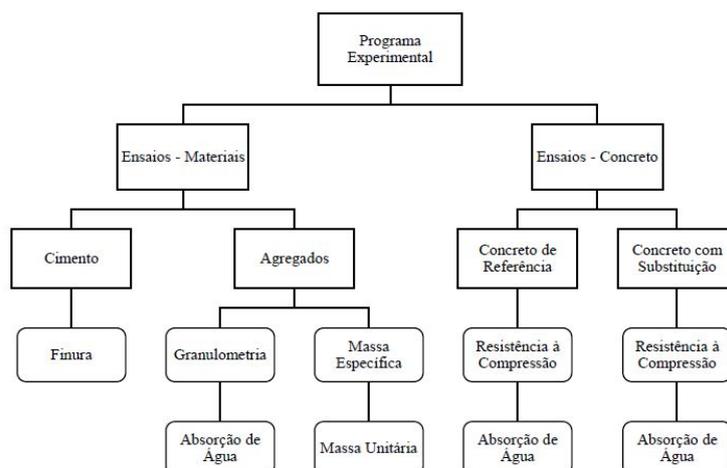
### METODOLOGIA

Buscando atingir os objetivos propostos neste trabalho, adotou-se um programa experimental que proporcionou a avaliação do comportamento mecânico do concreto para pisos intertravados com substituição parcial do agregado miúdo por Resíduo da Construção Civil (RCC). O procedimento experimental foi dividido em três partes: a) Caracterização física dos materiais utilizados; b) Produção e ensaio do concreto de referência; e c) Produção e ensaio do concreto com substituição de resíduo.

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se o Cimento Portland Nacional CP V – ARI MAX (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), por se tratar de matéria-prima com elevada resistência inicial, proporcionando ao concreto a desforma rápida e resistência mecânica superior aos demais tipos.

Os agregados utilizados nesta pesquisa foram: areia, brita 0, pó de pedra e Resíduo da Construção Civil (RCC). A areia empregada nos traços foi coletada no leito de um riacho nas proximidades do campus da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – PB. A brita 0 e o pó de pedra foram obtidos no Britador Caicó, localizado na cidade de Caicó-RN à cerca de 182 Km de Pombal-PB. O resíduo da construção civil utilizado para a substituição do agregado miúdo foi proveniente de obras realizadas na cidade de Pombal-PB e cedido pela Prefeitura Municipal.

Para o estudo do comportamento mecânico do concreto para pisos intertravados com resíduo da construção civil adotou-se o seguinte procedimento experimental (Figura 1).



**Figura 1: Procedimento Experimental. Fonte: Autor do Trabalho.**

Todos os ensaios foram realizados de acordo com as especificações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os mesmos foram executados no Laboratório de Resíduos Sólidos do Curso de Engenharia Ambiental, localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal – PB.

O concreto de referência para a produção dos corpos de prova foi dosado com base no método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) com o objetivo de alcançar resistências características à compressão em torno de 35 MPa, faixa estabelecida para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, recomendada pela ABNT NBR-9781:2013 – Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio. A partir do concreto de referência, realizaram-se as substituições parciais do agregado miúdo (areia) por Resíduo da Construção Civil - RCC em proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

A produção dos concretos foi executada de acordo com as recomendações da ABNT NBR-5738:2015 – Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Tanto para o concreto de referência, quanto para o concreto com substituição de resíduo, os materiais foram misturados utilizando-se uma betoneira intermitente de eixo inclinado de 120 litros de capacidade de mistura. Uma amostra do material produzido foi submetida ao ensaio Slump Teste, conforme recomendação da NBR NM-67:1998 – Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. O adensamento do concreto foi executado de forma mecânica e manual, através de uma mesa vibratória e haste de adensamento, com o objetivo de eliminar os espaços vazios nos corpos de prova (Figura 2).



**Figura 2: Moldagem e Vibração dos Corpos de Prova. Fonte: Autor de Trabalho.**

Decorrido o período de 24 horas, os corpos de prova foram retirados do molde, identificados e submetidos ao processo de cura imersa, realizado em um tanque de água, durante 14 dias, tanto para o concreto de referência (0% de RCC) como para o concreto com substituição de resíduo (Figura 3).



**Figura 3: Processo de Cura dos Corpos de Prova. Fonte: Autor do Trabalho.**

Os ensaios de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos foram executados conforme recomenda a ABNT NBR-5739:2018 - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Os corpos de prova foram rompidos com idade de 14 dias contados a partir da hora da moldagem. As peças foram centralizadas na prensa, de modo que os seus eixos coincidisse com o eixo do pistão da prensa mecânica, fazendo com que a resultante das forças passasse pelo centro. O carregamento foi aplicado continuamente e sem choques, com uma velocidade de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s e cessado quando houve uma queda de força, indicando a ruptura da peça (Figura 4).



**Figura 4: Ensaio de Compressão Axial: a) Prensa Mecânica; b) Rompimento do Corpo de Prova. Fonte: Autor do Trabalho.**

Foram utilizadas 18 amostras de concreto, sendo 3 amostras para cada teor de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. O ensaio para a determinação da absorção de água por imersão em corpos de prova cilíndricos foi realizado de acordo com as especificações da ABNT NBR-9778:2009 – Argamassa e Concretos Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica (Figura 5).



Figura 5 - Determinação da Absorção por Imersão dos Corpos de Prova Cilíndricos. Fonte: Autor do Trabalho.

## RESULTADOS

Para o cimento, obteve-se um valor médio de finura de 2,5%, índice satisfatório, indicando uma fina moagem do material, intensificando o desenvolvimento de resistência.

Quanto aos agregados, os resultados de massa unitária, massa específica e absorção dos agregados estão apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 1. Características Físicas dos Agregados.**  
Fonte: Autor do Trabalho.

Material	Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção (%)
Areia	1,834	2,505	0,806
Pó de Pedra	1,863	2,744	1,215
Resíduo da Construção Civil	1,458	2,117	1,626
Brita 0	1,788	2,776	1,002

Ainda, com base no ensaio de granulometria, obteve-se as seguintes curvas granulométricas dos materiais (Figura 6).

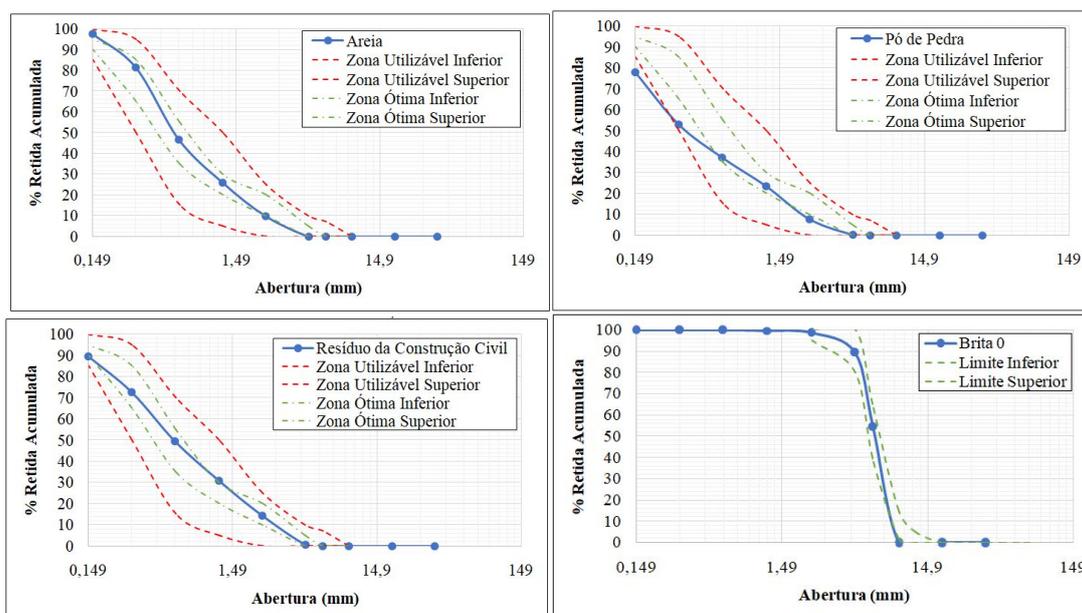


Figura 6 – Composição Granulométrica dos Agregados, Areia, Pó de Pedra, Resíduo da Construção Civil e Brita 0, respectivamente. Fonte: Autor do Trabalho.

A composição granulométrica uniforme dos agregados utilizados na produção do concreto para *pavers* proporciona trabalhabilidade, compactidade e resistência, uma vez que essas características estão diretamente ligadas a relação água/cimento e ao índice de vazios da mistura, de modo que quanto maior o índice de vazios, menor a resistência do concreto. Efetivamente, os baixos índices de vazios em misturas para concreto são alcançados utilizando agregados graúdos e miúdos em proporções adequadas, uma vez que as partículas de diferentes dimensões se acondicionam, reduzindo o teor de vazios.

Considerando a resistência à compressão desejada e as características dos materiais disponíveis, o traço de referência utilizado foi 1 : 0,96 : 2,02 : 0,24 : 0,45, sendo respectivamente, cimento, areia, brita zero, pó de pedra e água, dosado conforme o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

A utilização de pó de pedra se deve ao fato do mesmo possuir baixo valor comercial e não ter destinação ambiental adequada. Além disso, o mesmo possui propriedades granulométricas adequadas para a produção dos blocos de concreto, proporcionando finos para a coesão, grãos médios para formação de volume na mistura e graúdos para a resistência da peça. A quantidade de pó de pedra foi estabelecida em concordância ao sugerido por Fernandes (2016), quanto a utilização de 20% em relação à fração de agregado miúdo. Assim sendo, em quantidade balanceada com a brita zero e a areia, o pó de pedra completa uma curva ideal para os *pavers*, conferindo durabilidade aos blocos.

Foram submetidos à compressão 17 corpos de prova cilíndricos, sendo 02 para o concreto de referência (CR) e 03 para cada substituição de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de areia por resíduo da construção civil, conforme recomenda a ABNT NBR-5739:2018 - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da Determinação da Resistência à Compressão dos Corpos de Prova Cilíndricos aos 14 dias.

Fonte: Autor do Trabalho.

Corpos de Prova	Traço					
	CR	10%	20%	30%	40%	50%
CP1	43,70	37,46	37,46	38,71	37,46	37,46
CP2	43,70	39,96	38,71	37,46	36,21	36,21
CP3	-	41,20	39,96	38,71	38,71	37,46
Média	43,70	39,54	38,71	38,29	37,46	37,04
Desvio Padrão (S <sub>e</sub> )	0,00	0,74	0,49	0,25	0,49	0,25

<b>Coefficiente de Variação (CV<sub>e</sub>)</b>	0,00	1,87	1,27	0,64	1,31	0,66
--	------	------	------	------	------	------

Estatisticamente, temos que a dispersão dos resultados deve-se as operações do ensaio e ao coeficiente de variação (CV<sub>e</sub>) que foi  $\leq 3,0$ , sendo classificado pela ABNT-5739:2018 como Nível 1 (Excelente), tornando a avaliação dos resultados como satisfatório. A homogeneidade dos resultados que conferiram uma avaliação excelente ao ensaio se deve a três fatores: 1) condições de moldagem, na qual buscou-se a planicidade da superfície; 2) condições de cura, onde as peças permaneceram imersas em água para evitar a evaporação da água de amassamento utilizada no concreto, essencial para o processo de hidratação e; 3) condições operacionais do ensaio, não havendo variação de operador da prensa e aplicação uniforme de carga nos corpos de prova.

Para todos os traços houve uma tendência de redução da resistência em relação ao concreto de referência, com a elevação da fração de resíduo da construção civil em substituição ao agregado miúdo. Esse comportamento deve-se à menor resistência do resíduo (agregado reciclado), uma vez que o mesmo não foi previamente selecionado, podendo apresentar materiais menos resistentes como alvenaria, argamassa, etc. Logo, o RCC confere uma menor adesão à mistura devido a sua menor superfície de contato, dessa forma, apresentando maior fragilidade quando comparado a areia (agregado natural).

Ainda com a redução das resistências em razão da substituição, o traço com maior fração de resíduo atingiu resistência à compressão de 37 MPa, atendendo as exigências para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme recomenda a ABNT NBR-9781:2013 – Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio.

Todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão axial romperam de forma semelhante. A ABNT NBR-5739:2018 - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos permite a análise do tipo de ruptura de corpos de prova. Sendo assim, analisando a Figura 7, temos que os corpos de prova romperam semelhante ao Tipo A – Cônica e cônica.



**Figura 7: Forma de Ruptura dos Corpos de Prova. Fonte: Autor do Trabalho.**

O tipo de ruptura característica das amostras analisadas é característica de corpos de prova com altura maior que diâmetro ( $h > d$ ), onde o plano de ruptura encontra-se na orientação de 45° em relação a carga aplicada. Ainda, observou-se que a tendência de rompimento ocorreu nas ligações entre os agregados graúdos, reiterando a fragilidade na coesão da mistura com resíduo da construção civil.

Foram submetidos 18 corpos de prova ao ensaio de absorção, conforme recomenda a ABNT NBR-9778:2009. Os valores encontrados para absorção e índice de vazios em relação à quantidade de resíduo utilizado no traço podem ser visto na Tabela 3, a seguir.



**Tabela 3. Resultados da Determinação da Absorção de Água dos Corpos de Prova.**  
Fonte: Autor do Trabalho.

Corpo de Prova	Traço					
	CR	10%	20%	30%	40%	50%
CP1	2,59	3,29	4,35	3,97	4,67	4,27
CP2	2,53	3,08	4,32	3,98	4,66	4,55
CP3	2,65	3,10	4,51	4,37	4,64	4,04
Média	2,59	3,16	4,39	4,11	4,66	4,29

Verifica-se que as amostras do concreto apresentaram um aumento na capacidade de absorção média a medida que a fração de resíduo aumentava. No entanto, os valores encontrados permaneceram inferiores a 6%, conforme recomenda ABNT NBR-9781:2013 – Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio.

## CONCLUSÕES

A partir da análise de dados provenientes dos ensaios realizados no concreto de referência e no concreto com teores de resíduo de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% pode-se obter as resistências e absorções esperadas, sendo consideradas adequadas para a fabricação dos pavers.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial apontaram uma esperada redução de resistência à medida que aumentou a fração de resíduo incorporado, dado que o mesmo é composto por materiais menos resistentes que conferem uma menor adesão na mistura. Todavia, os resultados para resistência continuaram dentro dos padrões recomendados pela ABNT NBR 9781:2013, de 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Quanto à absorção, os ensaios apresentaram um crescimento na capacidade de absorção ao passo que o resíduo foi aumentado, similarmente ao que aconteceu com os resultados obtidos para resistência à compressão. Contudo, os resultados foram inferiores a 6%, sendo satisfatórios para aplicação em peças de pavimento intertravado, atendendo as especificações da ABNT NBR 9781:2013.

Desta forma, temos que para o teor máximo de 50% de incorporação de resíduos da construção civil, o concreto apresentou desempenho suficiente para ser utilizado na fabricação de *pavers* com os padrões de qualidade exigidos, estando aptos a serem utilizados em vias de circulação de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Diante do exposto, considera-se viável a produção de concreto com resíduo da construção civil com agregado miúdo reciclado para a produção de pisos intertravados, representando uma alternativa sustentável para reutilização desses resíduos, assim como suprimindo as necessidades quanto ao controle de erosão e possibilitando sua utilização para promover condições urbanísticas, de infraestrutura e de logística pela Comissão de Urbanismo e Paisagismo do Campus da UFCG – Pombal. Assim, contribuindo para a sustentabilidade do meio, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da Finura por Meio da Peneira 75 µm (nº 200). 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013, 4p.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 6p.
3. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006, 8p.
4. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 6p.
5. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781**: Peças de Concreto para Pavimentação - Especificação e Métodos de Ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 21 p.
6. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1998, 8p.
7. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 9p.



8. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 9p.
9. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778:** Argamassa e Concretos Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 4p.
10. FERNANDES, I. **Blocos e Pavers:** Produção e Controle de Qualidade. 7. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2016. 200 p.
11. HAMAD, A. J. **Size and shape effect of specimen on the compressive strength of HPLWFC reinforced with glass fibres.** In: Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 29v, 2017, p 373-380.
12. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.