

## **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO MECÂNICO DO CONCRETO PERMEÁVEL COM SUBSTITUIÇÕES PARCIAIS DO AGREGADO NATURAL POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

### ***Physical-mechanical Performance's Analysis of pervious concrete whit ccw partial replacement***

**Ariane Lúcia Oss-Emer, Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM**  
arianeluciaoss@gmail.com

**Diego Menegusso Pires, Mestrando, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM**  
diego.mssso@gmail.com

**Éder Claro Pedrozo, Mestre, UFSM, Professor na Universidade Regional do Noroeste  
do Estado do RS - UNIJUÍ**  
eder.pedrozo@unijui.edu.br

#### **Resumo**

O índice de alagamentos aumenta gradativamente, tanto os pavimentos flexíveis, quanto os pavimentos rígidos não permitem a percolação da água até o solo. O pavimento drenante é um material com uma granulometria aberta, tendo como principal característica a permeabilidade. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo realizar um estudo sobre o pavimento drenante com substituições totais e parciais do agregado natural por agregado reciclado. Ensaios foram realizados de tração na flexão e taxa de infiltração. As substituições de Resíduos da Construção Civil (RCC), 50% e 100%, com traço 1:3 (fator a/c 0,35), em alguns casos, superaram os valores obtidos como referência. Como resultados, considerando que são estudos iniciais para a mistura, apresentaram alguns resultados dentro dos parâmetros existentes, e alguns abaixo dos mesmos. Com isso, conclui-se, preliminarmente, que a utilização de resíduos pode ser empregada em pavimentos drenantes, considerado alguns índices de substituição. Torna-se passível de utilização em pavimentos sem fins estruturais, dosado de maneira correta e em substituições parciais. Ainda não se torna viável e seguro a utilização somente do agregado reciclado, pois as resistências são, consideravelmente, inferiores aos parâmetros estabelecidos.

**Palavras-chave:** Pavimento drenante; Permeabilidade; RCC.

## Abstract

*The index of flooding gradually increases, so much flexible pavements as rigid pavements refuse water's percolation until the soil. A way to decline the urban drainage's problems caused by the impermeability it's the draining pavement. This one is a material with open grain size, and taking as principal characteristic the permeability. On this way, this research had as objective to realize a study about the drainig pavement with total and partial replacement of natural aggregate for recumbent aggregate. It'll be performed bending traccion and infiltration rate. The Civil Construction Waste (CCW) relacements, 50% and 100%, with a 1: 3 line (factor  $a / c$  0.35), in some cases, exceeded the values of reference. As results, whereas they are early studies to the mixes, presente some results at the existng parameters, and some under of the same. With this, conclude, first and foremost, that the utilization of waste can be applied in draining pavements, considering some replacement index. It can be used on non-structural floors, dosed correctly and in partial replacements. It is still not feasible and safe to use only recycled aggregate, as the resistances are considerably lower than the established parameters.*

**Keywords:** *Draining pavements; Permeability; CCW.*

## 1. Introdução

Com o alto índice de desenvolvimento do país, aumentam a ocorrência de problemas gerados pela falta de planejamento urbano. Conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA), em 2017, um total de 3 milhões de brasileiros foram afetados por cheias e inundações, número esse que poderia ser reduzido com estruturação de sistemas de drenagem eficientes (ANA, 2018).

Segundo Tucci e Gez (1995), a drenagem no Brasil não é analisada a longo prazo. As iniciativas são tomadas somente quando há necessidade imediata, tornando essa questão em um problema contínuo. Para amenização desses efeitos, o pavimento drenante pode ser utilizado como forma de permitir que a água escoe para o solo.

Fergusson (2005), classifica o pavimento drenante, ou *pourus pavement*, como um material com granulometria aberta, que tem como principal característica a permeabilidade. O material não possui uma elevada resistência, podendo ser utilizado em estacionamentos, calçadas, ciclovias e demais locais com trânsito de cargas leves.

A preocupação com formas sustentáveis para sanar problemas gerados pelos desenvolvimentos não planejados, como a drenagem urbana, instiga pesquisadores a procura de materiais alternativos. Um dos materiais que impulsiona essa preocupação é o Resíduo de Construção e Demolição (RCD), pois é um dos maiores agentes de poluição ambiental. Desse modo, para combater o descarte incorreto de resíduos, pesquisadores procuram formas de como gerenciá-los e destiná-los a locais corretos, com a intenção de minimizar os impactos gerados pelos mesmos no meio ambiente (NAGALLI, 2014).

Segundo John (2000), o mercado da construção civil é o que tem mais facilidade para a reutilização do resíduo gerado, pois a atividade é realizada em qualquer região do país, o que diminui o custo de transporte. O autor destaca, também, que os materiais para

construção não precisam de uma sofisticação técnica elevada, contribuindo para a inserção do agregado reciclado na construção.

É grande a importância do estudo do comportamento do agregado reciclado, após muitos anos e muitos estudos alguns resíduos já são considerados subprodutos em determinadas indústrias e insumos da construção civil, tais como escória de alto forno e a sílica ativa. Para sua utilização ser consolidada muito teve que ser estudado, analisando seu comportamento e duração (LEITE, 2001).

Nesse sentido, o trabalho em questão tem como objetivo a pesquisa físico-mecânica do pavimento drenante, com substituições do agregado natural por agregado reciclado. A pesquisa em si é um estudo preliminar da mistura, para uma compreensão inicial das propriedades do material. As substituições ocorrerão na ordem de 50% e 100.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Concreto drenante

O pavimento drenante também conhecido como concreto permeável, é uma boa solução para locais com baixo tráfego de cargas elevadas, como estacionamentos ou calçadas. Sua utilização se dá por possibilitar a infiltração da água para o solo, sendo eficiente em locais baixos que costumemente sofrem de alagamentos ou excesso de escoamento. (FERGUSON, 2005)

O material é comumente usado nos Estados Unidos e na Europa, sua composição é basicamente o agregado graúdo, cimento, água e pouco ou nenhum agregado miúdo. Essa granulometria aberta garante a ele a absorção, porém diminui a sua resistência pela falta de coesão entre os componentes (FERGUSON, 2005).

Em algumas cidades dos Estados Unidos, as prefeituras adotaram a prática de cobrar sobre a geração de águas pluviais, que são calculadas sobre o total de área impermeabilizada da construção. O custo benefício do pavimento drenante nessas regiões aumentou, ampliando a procura de mão de obra especializada e, conseqüentemente, diminuiu-se o valor de execução, tornando favorável o uso dessa forma de construção ao invés do pagamento da taxa da prefeitura (HUFFMAN, 2005).

Observa-se com fatos como este, que a utilização do pavimento drenante reduz a necessidade de criar grandes poços para a detenção de água, pois o próprio material trabalha de forma a suprir esse recurso, com isso diminui-se o custo de mão de obra, construção e manutenção do local (HÖLTZ, 2011).

O que confere ao material esta característica de alta permeabilidade é sua granulometria aberta, Yang *et al.* (2008) explica que o principal motivo de sua baixa resistência é a ausência de agregado miúdo. A diminuição do volume de pasta em relação ao agregado graúdo torna a zona de transição mais frágil, e permite a passagem de água através do material.

O pavimento drenante necessita de uma quantidade maior de cimento que os concretos convencionais, pois quanto maior a quantidade de cimento, maior a resistência do material. Entretanto, a quantidade de cimento deve ser usada de maneira moderada, pois é um material classificado como miúdo, o que colabora para diminuição da permeabilidade do material quando usado demasiadamente (MONTEIRO, 2010)

Fatores como resistência e permeabilidade tornam possível a classificação do pavimento drenante. Segundo Batezini (2013), quando ele possui baixa resistência e elevada permeabilidade é conhecido como concreto hidráulico, não possuindo fins estruturais. Quando o material possui média resistência e média permeabilidade pode ser aplicado em ciclovias e calçadas. A mistura que contém agregados miúdos ou outros tipos de agregados, que o conferem altas resistências, pode ser usado para fins estruturais em vias de tráfego mais carregado.

## 2.2 Propriedades do concreto drenante

Uma das principais características do concreto no seu estado fresco é a trabalhabilidade, Neville (2013) conceitua esse termo como sendo a energia necessária para o adensamento total do material. Essa propriedade é altamente afetada pela forma dos grãos e quantidade de água na mistura, por exemplo, um agregado anguloso e rugoso requer mais água que um agregado arredondado e liso. Para aferição dessa propriedade nos concretos drenantes é utilizado o controle tátil-visual.

Segundo Tennis *et al.* (2004), para realizar o controle tátil-visual da mistura deve-se pegar uma quantidade de material com as mãos e comprimi-la, caso o material se mantenha aglomerado ao abrir a mão, há coesão na mistura, caso o material se disperse, entende-se que a mistura não está coesa, e é recomendado a adição de água ou aditivos na mistura.

No estado endurecido a principal propriedade do concreto drenante é a condutividade hidráulica. Batezini (2013) cita que se o índice de vazios do material é inferior a 15 %, o mesmo possui baixa porosidade, segundo o autor, para o material atingir uma alta porosidade, o índice de vazios deve ser na ordem de 30%. Para Tennis *et al.* (2004), deve-se utilizar um índice de vazios em torno de 20% para que se obtenha boa permeabilidade e boa resistência.

A condutividade hidráulica, fator aliado a permeabilidade do material, oscila entre 0,10 a 0,77 cm/s.. Segundo os autores esses dados são de importância, pois é possível, a partir dos mesmos, um comparativo entre o índice de vazios e sua condutividade hidráulica, (BATEZINI, 2013).

## 3. Metodologia

### 3.1 Moldagem dos corpos de provas

Após a prévia classificação dos agregados utilizados, foram moldados os corpos de provas para a realização dos ensaios, para o estudo em questão foi utilizado um traço 1:3 com fator a/c 0,35. No total foram moldadas 7 placas de 34 cm x 15 cm x 5 cm, para cada traço, sendo 6 para realização dos testes de tração na flexão aos 7, 14 e 28 dias e uma para a realização do ensaio da taxa de infiltração. Foram feitas moldagens do traço referência, e substituições de 50% e 100% de agregado natural por reciclado. As quantidades de material utilizadas para a moldagem dos corpos de provas podem ser observadas na Tabela 1.

	Cimento	Brita 0	RCC	Água
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Referência	8,337	25,01	0	2,918
50 % RCC	8,337	12,505	12,505	2,918
100% RCC	8,337	0	25,01	2,918

**Tabela 1: Quantidades de material para moldagem. Fonte: elaborado pelos autores.**

A mistura e moldagem decorreu conforme bibliografia anteriormente pesquisada e conforme orienta as normas vigentes, para análise de coesão da mistura foi realizado o ensaio tátil-visual, nas misturas com substituição do agregado natural por reciclado foi necessário a adição de aditivos para corrigir a coesão da mistura. Foi utilizado um aditivo superplastificante e foi mantido a relação água cimento.

### 3.2 Ensaios realizados

Foram realizados ensaios de tração na flexão aos sete, quatorze e vinte e oito dias, foram rompidos dois corpos de prova a cada dia e utilizou-se para fins de resultados os maiores valores obtidos entre os dois corpos de prova. Para a realização desse ensaio foi utilizado como base a NBR 12142 (ABNT, 2010). Todos os ensaios foram realizados no laboratório de engenharia civil da Unijuí, sob supervisão do laboratorista responsável, os corpos de provas ficaram em cura na câmara úmida até a realização do ensaio, conforme orientação das normativas. Na Figura 1, observa-se o rompimento da placa após a aplicação da carga do ensaio.



**Figura 2: Ensaio de tração na flexão. Fonte: elaborado pelos autores.**

O ensaio de taxa de infiltração ocorreu com a placa após vinte e oito dias de cura, o ensaio é normatizado pela ASTM C1701/C1701M – 09 (ASTM, 2009). Para a realização do ensaio foi utilizado uma adaptação do estudo feito por Lamb (2014). No ensaio foram derramadas sobre o diâmetro vedado nas laterais quantidades pré-definidas e determinado

o tempo para a obtenção do valor da taxa. A realização do ensaio pode ser observada na Figura 2.



Figura 2: Ensaio para obtenção da taxa de infiltração. Fonte: elaborado pelos autores.

Após a realização dos ensaios foram coletados os resultados e feitas as respectivas análises de cada traço e ensaio, para a compreensão e entendimento dos questionamentos realizados no desenvolvimento da pesquisa.

## 5. Resultados e discussões

Para melhor entendimento analisou-se os resultados separadamente de cada ensaio e posteriormente, conforme indicado na bibliografia pesquisada buscou-se uma correlação entre os mesmos. Os valores obtidos no ensaio de tração na flexão podem ser visualizados na Figura 3.

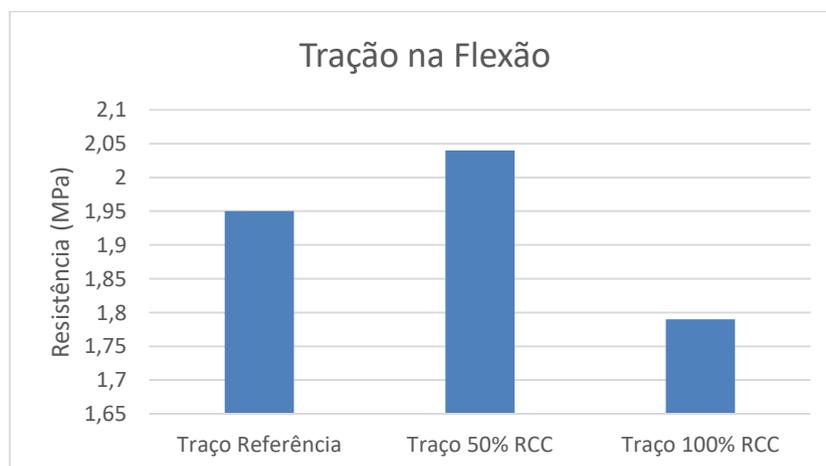


Figura 3: Valores obtidos no ensaio de tração na flexão. Fonte: elaborado pelos autores.

Ao analisar os dados da Figura 3, observa-se que ocorreu, um acréscimo de resistência no traço 50% RCC. O acréscimo foi na ordem de 4,12%. Já o traço que é composto por 100% RCC, sofreu um decréscimo, em relação ao referência foi na ordem de 4,12%. O valor desse ensaio para o traço referência ficou abaixo dos resultados analisados na bibliografia, mas está dentro dos parâmetros pré-estabelecidos para pavimento drenante.

Os valores obtidos no ensaio da taxa de infiltração de água são apresentados na Figura 4.

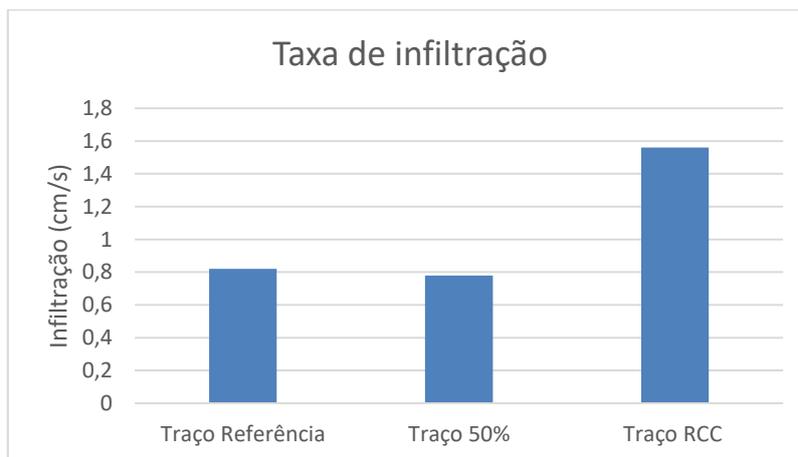


Figura 4: Valores obtidos no ensaio de taxa de infiltração. Fonte: elaborado pelos autores.

Segundo Batezini (2013), os valores de taxa de infiltração de um concreto permeável variam entre 0,10 cm/s a 0,77 cm/s. Considerando esses valores, as misturas se enquadram dentro do obtido. Somente o Traço com 100% RCC superou esses valores, porém é conferido ao mesmo uma resistência muito baixa.

A bibliografia pesquisada para o desenvolvimento da pesquisa cita que há uma correlação negativa entre a taxa de infiltração do concreto drenante e a sua resistência, isto é, quanto maior for a resistência menor vai ser a taxa e vice e versa. Para a confirmação dos resultados obtidos foi montado um gráfico que correlaciona os valores apresentados em ambos os ensaios, o gráfico em questão pode ser visualizado na Figura 5.

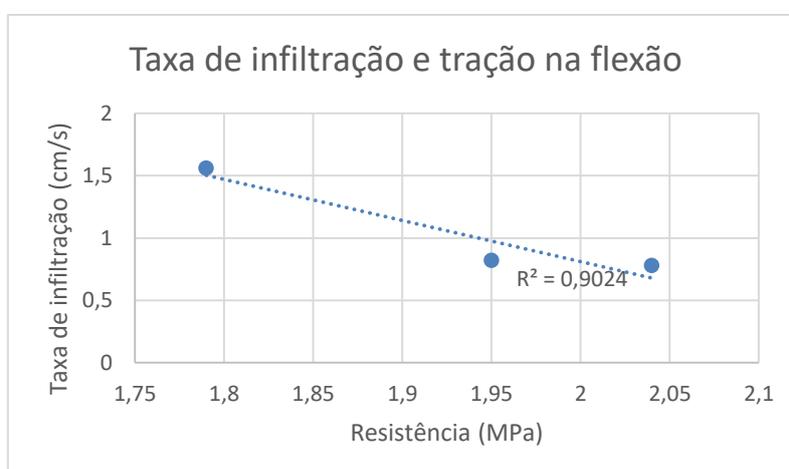


Figura 4: Comparação entre os valores obtidos nos ensaios. Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico mostra uma correlação negativa entre as duas variáveis, isso é, quanto maior for o valor da resistência, menor vai ser o valor da permeabilidade. O valor obtido com o  $R^2$ , mostra uma confiabilidade a curva de tendência e confirma o citado na bibliografia. Este fato ocorre com a utilização de um único tipo de granulometria, diminui a resistência, mas, em contrapartida aumenta a permeabilidade.

## 6. Considerações finais

Com os resultados obtidos na pesquisa constata-se que o agregado reciclado em um primeiro estudo é passível de utilização em pavimentos sem fins estruturais, dosado de maneira correta e em substituições parciais. Ainda não se torna viável e seguro a utilização somente do agregado reciclado, pois as resistências são consideravelmente inferiores aos parâmetros estabelecidos.

Para a produção do concreto para pavimento drenante em larga escala são necessários estudos aprofundados do comportamento do material e do agregado, observa-se a importância da sanidade do mesmo para a obtenção de resistência. Outro fator é a quantidade de água disponível para a hidratação do cimento, ao substituir um percentual do agregado natural por reciclado, esse tendo uma absorção maior, diminuiu-se a quantidade de água para a hidratação. Quando o agregado reciclado absorve uma quantidade maior de água involuntariamente diminui o fato água cimento, o que gera um ganho de resistência no traço de 50% RCC. Fatores como esse abrem precedentes para estudos mais aprofundados da mistura.

É de suma importância a realização de pesquisa para a incorporação de agregados reciclados, pois o volume de geração dos mesmos tende a aumentar conforme cresce o setor da construção, e é imprescindível que o setor que gera o mesmo saiba como destinar de maneira correta. As fontes de matérias primas são finitas, é de responsabilidade de todos a intenção de estudos de novas formas de reincorporação do que já foi extraído da natureza, não deve ser pensado somente no descarte correto. Esse é um setor que tem tendência de crescimento para o futuro, pois é de responsabilidade da empresa geradora o destino do resíduo gerado na sua obra.

## Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 522.1M-13: Specificaton for Pervious Concrete Pavement. ACI Standart, Farmington Hills, 2013. 23p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Crise hídrica. 2018. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/crisehidrica>> Acesso em 13 out. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010. 5p.
- BATEZINI, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

- FERGUSSON, B. K. Porous Pavement. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005.
- HÖLTZ, F. da C. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: Análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. 138p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Porto Alegre, Porto Alegre, 2011.
- HUFFMAN, D. Understanding pervious concrete. The magazine of the construction, Specifications Institute, 2005. p. 42-49. Disponível em:  
<<https://www.constructionspecifier.com>> Acesso em 13 out. 2018
- JOHN, V. M. Reciclagem, de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 113f. Tese (Pós-Graduação em Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- LAMB, Gisele S. Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável. 152p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014
- LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- MONTEIRO, A. C. N. Concreto Poroso: dosagem e desempenho. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Goiás, Universidade Federal de Goiás, 2010.
- NAGALLI, A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- NEVILLE, A. M. Tecnologia do Concreto. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. Pervious Concrete Pavements. EB 302.02, Portland Cement Association, Skokie Illinois, National Ready Mixed Association, Silver Spring Maryland, USA, 2004. 36 p.
- TUCCI, C. E. M; GEZ, F. Controle do impacto da urbanização. *In.*: TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Orgs). Drenagem Urbana. Coleção Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5. Porto Alegre: PUC. p. 195-199, 1995.