



## Análise da influência da relação água/aglomerante nas propriedades de concretos permeáveis

Francielle Cabral Gaspar, Alessandra Buss Tessaro, Ingrid Telles Moraes, João Pedro Viana, Flávia Costa Mattos, Jorge Luiz Oleinik Nunes, Jorge Luiz Saes Bandeira

Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Km 8 Avenida Itália Carreiros, Rio Grande - RS, 96203-900

franciellegaspar@gmail.com,

alessandrabuss@gmail.com,

Ingrid.Telles.Moraes@hotmail.com,

joaovianaegn@gmail.com,

fcmattos@furg.br, Jorge-band@hotmail.com, jorgeoleinik@gmail.com

**Resumo.** Concretos permeáveis, devido ao seu alto índice de vazios, apresentam elevada capacidade de percolação de água, contribuindo para a redução do escoamento superficial em áreas urbanas. No presente trabalho, foram avaliadas as propriedades de concretos permeáveis produzido com diferentes relações água/cimento (0,25; 0,30; 0,35 e 0,40). Foi realizada a caracterização dos materiais e as propriedades dos concretos permeáveis aos 28 dias. Os ensaios realizados foram de resistência à compressão axial, permeabilidade, taxa de infiltração e abrasão Los Angeles. Os resultados finais indicaram que as maiores relações água/cimento utilizadas geram uma resistência à compressão superior as demais, porém com a permeabilidade inferior. As resistências encontradas alcançaram média de 5,15 MPa e a permeabilidade foi classificada como grau alto, ao atingir valores maiores que 10-3 m/s.

**Palavras-chave:** concreto permeável; permeabilidade; escoamento superficial.

**Abstract.** Permeable concretes, due to their high void content, have a high water percolation capacity, contributing to the reduction of surface runoff in urban areas. In the present work, the properties of permeable concrete produced with different water/cement ratios (0.25; 0.30; 0.35 and 0.40) were evaluated. The characterization of the materials and the properties of the permeable concretes at 28 days were carried out. The tests carried out were resistance to axial compression, permeability, infiltration rate and Los Angeles abrasion. The final results indicated that the highest water/cement ratios used generate a higher compressive strength than the others, but with lower permeability. The resistances found reached an average of 5.15 MPa and the permeability was classified as high, when reaching values greater than 10-3 m/s.

**Keywords:** Permeable concrete; permeability; surface runoff.

### 1. Introdução

O concreto permeável é um material poroso constituído por agregados graúdos e graduados (com pouco ou sem agregados miúdos), que permite a percolação da água através de macroporos (espaços maiores) que estão interconectados (TENNIS et al., 2004; ACI, 2010; NEITHALATH et al., 2010; YAHIA e KABAGIRE, 2014).



A principal diferença do concreto permeável para o concreto tradicional está no índice de vazios. Devido à porosidade, sua resistência mecânica é comprometida e, o uso desse material se limita a áreas de tráfego médio, como quadras poliesportivas, vias de pedestres, ciclovias, estacionamentos e praças, uma vez que a resistência mecânica é reduzida por causa dos vazios (COSTA, 2019).

Como todo material, o concreto permeável apresenta vantagens e desvantagens. Dentre os fatores positivos estão a realimentação do aquífero subterrâneo, filtragem de substâncias tóxicas encontradas na pavimentação urbana não permitindo que alcance o lençol freático, redução de enchentes e enxurradas, aplicação em áreas com tráfego médio, pode ser feito peças pré-moldadas ou in loco, dentre outros (HÖLTZ, 2011).

Porém, a parte negativa desse material é a aplicação em locais que existam o uso de óleos ou outros materiais que possam contaminar o concreto, visto que pode provocar a ruptura do mesmo, e em não poder utilizar o mesmo em áreas com tráfego de veículos pesados, devido a sua baixa resistência mecânica quando comparado ao concreto tradicional (COSTA, 2019).

De acordo com as diversas vantagens apresentadas, é possível notar que vem difundindo-se o interesse por esse tipo de pavimento. Em diversos países, como Japão e Chile, existem experimentos sendo realizados. Os estudos da comunidade científica estão voltados para o pavimento permeável nos últimos anos, com o objetivo de aprofundar e normalizar sua aplicação e o modo mais adequado. O Brasil carece de pesquisas referentes a esse material (POLASTRE; SANTOS, 2006).

A utilização do concreto permeável pode contribuir diretamente ou indiretamente, pois permite que a água pluvial infiltre em maior quantidade, favorecendo a diminuição dos custos em obras de drenagem urbana. Quando aplicado em pavimentos, contribui com a redução da vazão que vai para o sistema de drenagem, já que possibilita uma maior infiltração da água no solo. O uso desse tipo de concreto também ajuda na manutenção dos aquíferos subterrâneos e contribui para um escoamento mais lento e em menor quantidade. Visto que o concreto permeável permite uma infiltração natural da água das chuvas, o material auxilia para um desenvolvimento sustentável (SCHWETZ et al., 2015).

Segundo Santos (2017) pode-se aplicar o concreto permeável com intuito de melhorar a drenagem das águas que ficam na superfície e reduzir a poluição das águas escoadas, visto que esse tipo de concreto funciona também como um filtro de substâncias tóxicas que estão presentes na pavimentação urbana.

Porém, com o alto índice de vazios, a porosidade aumenta e, como consequência, a resistência mecânica diminui, limitando assim, o uso do concreto permeável a áreas de tráfego médio (IBRAHIM et al., 2014). Uma das diferenças do concreto permeável para o concreto convencional está no traço. O concreto permeável apresenta um elevado índice de vazios que varia entre 15 e 25%, por apresentar na sua composição pouco ou nenhum agregado miúdo (ACI, 2006). A falta desse material é o que facilita a percolação da água no meio dos macroporos, permitindo que o volume de água das chuvas infiltre no solo e, conseqüentemente, reduzindo o escoamento superficial.

Batezini (2013) e Tennis et al. (2004) consideram a relação água/cimento de grande importância na produção do concreto permeável, estando diretamente relacionada à permeabilidade e à resistência mecânica. Normalmente, essa relação é aplicada entre



0,26 e 0,45. O foco das pesquisas de concreto permeável está voltado para a alta permeabilidade. Com isso, o objetivo deste trabalho é avaliar propriedades de concretos permeáveis produzidos com a utilização de diferentes relações de água/cimento.

A maioria das grandes cidades brasileiras enfrentam problemas ambientais como enchentes e enxurradas devido a um sistema de drenagem urbana ineficaz dos escoamentos pluviais. A grande demanda da urbanização gera um aumento significativo na impermeabilização do solo, visto que o crescimento é demasiado acelerado e não há um planejamento por parte dos governantes (BATEZINI, 2013).

É possível afirmar que o aumento da urbanização e a necessidade por vias de tráfego asfaltadas provocaram um grande crescimento de áreas impermeáveis, já que conta com a utilização de materiais como o cimento Portland e o concreto asfáltico. Como consequência, a quantidade de água no escoamento superficial aumenta, já que a água não infiltra no solo e, isso gera uma série de problemas para a rede de drenagem urbana. A fim de diminuir a problemática, passou-se a pensar no uso de pavimentos permeáveis como alternativa, pois o mesmo é um tipo de pavimento altamente suficiente para o tráfego, o qual colabora com a melhoria em relação à infiltração, podendo servir de reservatório temporário de certa quantidade de água (HÖLTZ, 2011).

O concreto permeável possui potencial para reduzir os impactos causados pelos materiais impermeáveis, aplicados em estacionamentos e rodovias, que geram problemas como alagamentos e enchentes. O material citado possibilita uma redução desses impactos de forma econômica e segura, e por isso, já vem sendo utilizado em alguns projetos como calçadas, pátios e estacionamentos (HÖLTZ, 2011).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da relação água/aglomerante nas propriedades do concreto permeável.

## 2. Metodologia

Os agregados foram separados pelo método denominado quarteamento, conforme a NBR 16915 (ABNT, 2021). Após o quarteamento, foi realizada a análise granulométrica de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022). Nesse estudo, foi utilizado como agregado graúdo a brita 1. A determinação da massa específica, específica aparente e absorção de água foi realizada conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021). A determinação da massa unitária e do volume de vazios dos agregados graúdos e miúdos foram realizados segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021).

Na Figura 1, é apresentada a curva granulométrica da brita 1, utilizada na mistura do concreto permeável. Pode-se verificar que a brita selecionada está dentro dos limites da NBR 7211 (ABNT, 2022).



**Figura 1. Curva granulométrica da brita**

O aglomerante utilizado nesse trabalho foi o cimento Portland do tipo CPV-ARI RS. Esse tipo de cimento proporciona uma resistência inicial elevada e, conseqüentemente o processo de desforma se torna mais rápido.

Foi utilizada a água da rede de abastecimento, tanto para a pré umidificação da brita como para o amassamento.

No presente trabalho, optou-se pela utilização do traço 1:4 (cimento/agregado), devido aos resultados obtidos nos estudos de DA COSTA (2019), que avaliou concretos permeáveis produzidos com agregados similares aos adotados no presente trabalho, com uma relação água/aglomerante partindo de 0,26 até o valor máximo de 0,40, valores os quais são indicados pelo ACI (2010), além de mais dois valores intermediários, o 0,30 e 0,35. Portanto, foram escolhidas as relações a/c (Tabela 1).

**Tabela 1. Concretos avaliados no estudo**

| Traço | Cimento               | Brita 1                | Relação a/c |
|-------|-----------------------|------------------------|-------------|
| 1     |                       |                        | 0,26        |
| 2     | 400 kg/m <sup>3</sup> | 1600 kg/m <sup>3</sup> | 0,30        |
| 3     |                       |                        | 0,35        |
| 4     |                       |                        | 0,40        |

Após os ensaios de caracterização dos materiais, o concreto foi confeccionado para a moldagem dos corpos de prova. As misturas foram produzidas apenas com água, cimento CP V-ARI RS e brita 1. Para obter a mistura, foi feito o seguinte procedimento: foram colocados os agregados graúdos na betoneira e, em seguida, um pouco de água, com o objetivo de deixar a superfície dos agregados úmida, para aderir melhor o cimento e evitar a perda do material na betoneira. Foi adicionado o restante da água e deixado o misturador agir por mais alguns minutos. Cada betonada foi realizado com a relação água/cimento igual a 0,26; 0,30; 0,35 e 0,4. Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Os autores Ospina e Erazo (2007) afirmam que a relação a/c e a resistência à compressão estão ligadas de maneira mais complexa que o concreto convencional, pois no concreto permeável a água funciona como um tipo de lubrificante na hora do



adensamento e a relação a/c pode ficar entre 0,35 e 0,50 quando a compactação for realizada.

Os corpos de prova ficaram em repouso por 24 horas a temperatura ambiente. Após, foram desmoldados submetidos à cura submersa, onde foram mantidos até a data de realização dos ensaios propostos. Foram produzidos 12 corpos de prova de cada traço.

O ensaio de resistência à compressão foi baseado na NBR 5739 (ABNT, 2018) utilizada para corpos de prova de concreto. O ensaio foi realizado nos corpos de prova  $\phi 10 \times 20$  cm, após os 7 e os 28 dias.

Foi inserido um anel de infiltração de acetato no corpo de prova de concreto para medir a infiltração e colocado plástico filme no entorno do CP com o objetivo de selar as laterais, para que o fluxo de água ocorresse somente no sentido longitudinal.

Assim, foi realizado um teste de pré-molhagem, usando 3,6 kg de água conforme a norma, já que o tempo foi maior que 30 segundos, mantendo uma coluna de água padrão em duas linhas marcadas dentro do anel, uma de 10 mm e outra de 15 mm.

O tempo começou a ser medido quando a água tocou a superfície do corpo de prova até desaparecer totalmente da superfície do CP de concreto.

O teste foi realizado três vezes para encontrar um tempo médio para determinação da taxa de infiltração. Os valores encontrados para o coeficiente K determinam o grau de permeabilidade do solo. Na tabela 2, é possível verificar que quanto menor o valor de K, menos permeável é o solo.

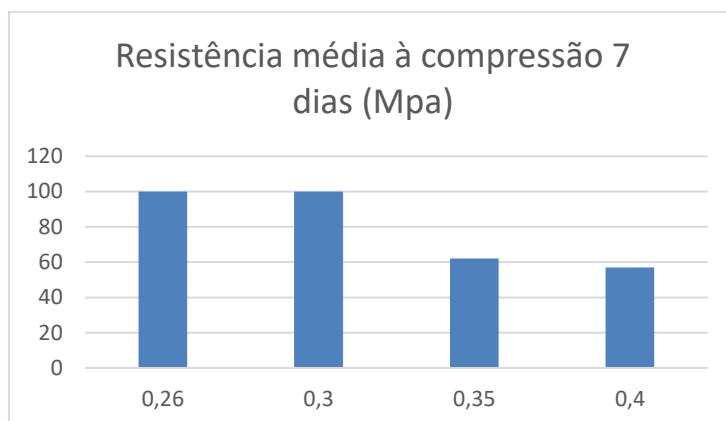
**Tabela 2. Grau de permeabilidade de acordo com o coeficiente (K)**

| Valor médio (K)         | Grau de permeabilidade |
|-------------------------|------------------------|
| $>10^{-2}$              | Alto                   |
| $10^{-7} > K > 10^{-9}$ | Muito baixo            |

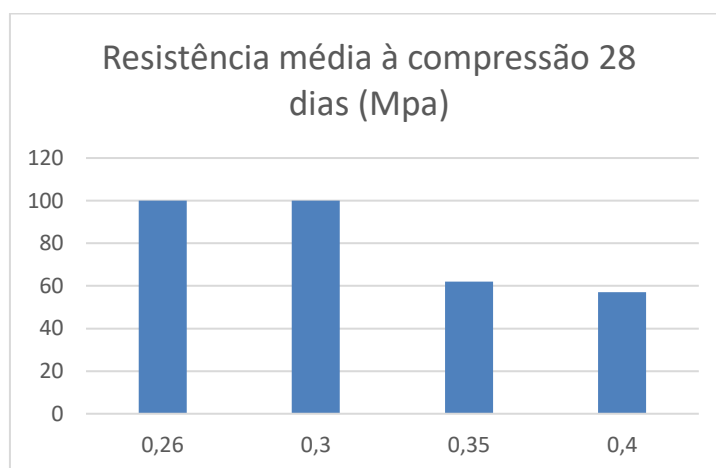
O ensaio foi realizado com o objetivo de encontrar a perda de massa do material quando sofre abrasão ou algum outro tipo de impacto. O procedimento foi feito com corpos de prova de 10 cm x 10 cm que foram adicionados dentro do equipamento que conta com um tambor oco, com aproximadamente 500 de comprimento e 700 de diâmetro como consta na NBR 16974 (ABNT, 2022), e que girou a uma velocidade variando de 30 a 33 rpm, até alcançar 500 rotações. A perda deu-se apenas pelo contato dos corpos de prova com o próprio tambor e entre os próprios corpos de prova. Foram pesados 3 corpos de prova de modo simultâneo. Após serem pesados, os corpos foram adicionados no equipamento, como descreve a norma. Após tal processo, o material foi retirado e foi pesado novamente para verificar a perda de massa.

### 3. Resultados e discussões

As figuras 2 e 3 apresentam os valores em MPa das médias dos corpos de prova e a análise estatística da resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 7 e 28 dias.



**Figura 2. Resultados obtidos de resistência à compressão (7 dias)**



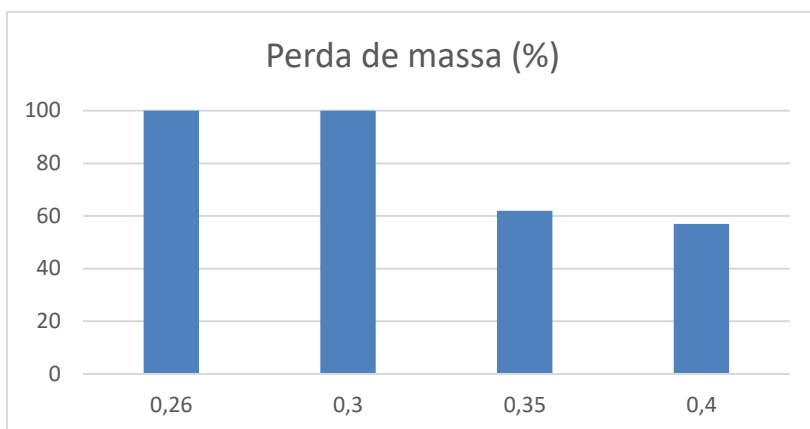
**Figura 3. Resultados obtidos de resistência à compressão (28 dias)**

Os resultados encontrados no ensaio de compressão simples corroboram os resultados obtidos por outros autores como Batezini (2013) e Castro (2015), que quanto maior a relação a/c, maior é a resistência. As misturas atingiram resistência à compressão na faixa de 6,5 MPa.

Ao fim de seus estudos, Hóltz (2011) afirmou na sua dissertação que o aumento da resistência à compressão dos traços os quais foram utilizadas relações a/c iguais a 0,26 e 0,30, foi muito baixa, ao comparar os resultados encontrados nos 7 e 28 dias, sendo a mesma quase nula. Diferentemente dos traços realizados com relação a/c 0,30 e 0,45, que apresentaram um aumento nesse intervalo de tempo de 7 a 28 dias.

Esse aumento na resistência está intimamente ligado à estrutura interna do concreto permeável, onde uma menor quantidade de água resulta em uma matriz mais densa e, portanto, mais resistente.

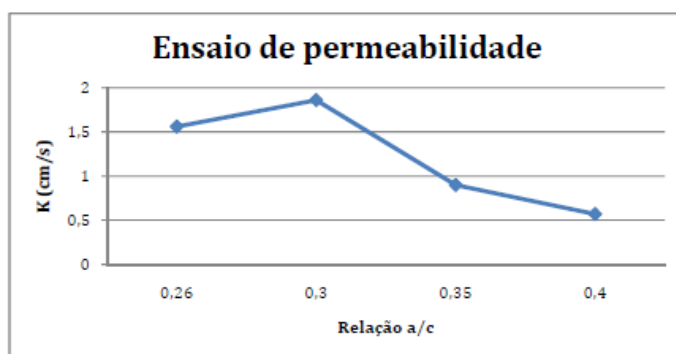
Na figura 4 constam os resultados encontrados no ensaio para cada traço. A análise da média dos 3 corpos de prova indica que, os traços que apresentavam as maiores relações a/c, obtiveram menor perda de material, variando em torno de 50%, por apresentarem maior coesão na mistura.



**Figura 4. Resultados acerca da perda de massa quando realizado no ensaio Los Angeles**

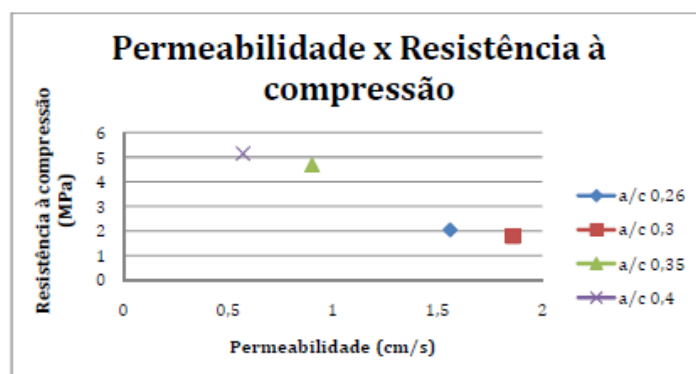
De acordo com a classificação apresentada na tabela 2, todos os resultados obtidos possuem um coeficiente de permeabilidade maior que  $10^{-3}$  m/s, sendo considerados com alto grau de permeabilidade, quando comparados com solos silte-argilosos, que são os mais usados na aplicação de pavimentos, sendo caracterizados como grau de permeabilidade baixo, por apresentarem coeficiente K muito baixo.

O concreto permeável confeccionado se mostra então adequado para a finalidade de garantir a absorção da água das chuvas e evitar enxurradas. Na figura 5, é possível verificar os valores encontrados ao final do ensaio.



**Figura 5. Resultados do ensaio de permeabilidade**

Na figura 6, ao confrontar os resultados de permeabilidade com a resistência à compressão, é possível verificar que quanto maior a relação a/c, maior é a resistência e menor é a permeabilidade. Tais características são inversamente proporcionais, e se dão pela melhor coesão da mistura.



**Figura 6. Resultados do ensaio de permeabilidade x compressão**

No entanto, é importante destacar que, embora as misturas com relações água/cimento mais elevadas tenham demonstrado maior resistência à compressão, também mostraram uma permeabilidade inferior. Esse é um ponto crucial a considerar ao projetar e utilizar concretos permeáveis em aplicações práticas. A resistência à compressão é apenas um aspecto do desempenho do concreto; a capacidade de percolação de água e a resistência ao escoamento são igualmente importantes, especialmente em ambientes urbanos onde a gestão das águas pluviais é fundamental.

A análise da perda de massa no ensaio Los Angeles adiciona outra camada de compreensão aos resultados. As misturas com maiores relações água/cimento mostraram menor perda de material, indicando uma maior coesão na mistura. Isso sugere que essas misturas podem ter uma durabilidade potencialmente superior em ambientes sujeitos a desgaste abrasivo.

No contexto da permeabilidade, é crucial considerar a classificação em relação aos solos silto-argilosos comumente utilizados em pavimentação. O fato de o concreto permeável apresentar coeficientes de permeabilidade mais elevados destaca sua eficácia na absorção de águas pluviais e na redução do escoamento superficial, contribuindo para a gestão sustentável das águas em áreas urbanas.

A análise comparativa entre a resistência à compressão e a permeabilidade revela uma correlação significativa entre essas propriedades. Enquanto maiores relações água/cimento levam a uma resistência maior, elas também resultam em uma menor permeabilidade. Essa relação inversa destaca a importância de um equilíbrio cuidadoso ao projetar concretos permeáveis para aplicações específicas, onde é necessário considerar tanto a resistência estrutural quanto a capacidade de drenagem do material.

#### 4. Conclusões

Esse trabalho buscou avaliar a influência da relação água/cimento nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto como a resistência mecânica, perda de massa através do atrito e da permeabilidade do material. Durante o estudo, foi possível perceber diversos fatores que também influenciam nas características do concreto, como o tipo de agregado graúdo, o traço, a existência ou não do agregado fino, a adição de materiais alternativos, tipo de compactação, dentre outros.

Através dos resultados obtidos nos ensaios e das análises feitas pode-se concluir que os valores alcançados da taxa de permeabilidade do concreto fabricado, foram





elevadas e que, os valores da relação a/c indicados como extremos pelo ACI (2006) apresentaram problemas na resistência e trabalhabilidade da mistura.

Por fim, destaca-se sobre o potencial do concreto permeável na utilização na pavimentação para reduzir os problemas das enchentes por causa do grande avanço da urbanização, por se enquadrar no grau alto de permeabilidade. É necessário um estudo aprofundado em buscar de alternativas que possam elevar a resistência para suportar o tráfego.

## Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). “NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). “NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações”. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). “NBR 16915 Redução de Amostra de Campo de Agregados para Ensaio de Laboratório”, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). “NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio”. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). “NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água”. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). “NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios”. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). “NBR 16974: Agregados – Resistência ao impacto e à abrasão Los Angeles”. Rio de Janeiro.
- American Society Institute. (2006). “ACI 522R-10: Pervious Concrete. Farmington Hills”, Michigan.
- Batezini, R. (2013). “Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves”. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 133 p.
- Costa, F. B. P. (2015). “Análise da Durabilidade de Compósitos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação Reforçados com Fibras”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Höltz, F.C. (2011). “Uso do Concreto Permeável na Drenagem Urbana: Análise da Viabilidade Técnica e do Impacto Ambiental”. (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Ibrahim, A., Mahmoud, E., Yamin, M. e Patibandla, V. C. (2014). Experimental study on Portland cement concrete mechanical and hydrological properties. “Construction and Building Materials”, v.50, p.524-529.
- Neithalath, N., Bentz, D.P. e Sumanasooriya, M. S. (2010). Predicting the permeability of pervious concrete. “Concrete International”, p 35 – 40.
- Polastre, B. e Santos, L. D. (2006). Concreto permeável. “Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-USP”. São Paulo, 2.



- Santos, I. R. (2015). “Medidas para a redução dos impactos ambientais gerados pela construção civil”. 2015, 108 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Escola Politecnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Schwetz, P. F., Lorenzi, A., Silva Filho, L. C. P., Ferreira, L. Z., Linhares, V. e Parisoto, M. (2015). Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve. “CONPAT”.
- Tennis, P. D., Leming, M. L. e Akers, D. J. (2004). “Pervious concrete pavements”, EB.302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, National Ready Concrete Association, Silve Spring, Maryland, USA, 36 p.
- Yahia, A. e Kabagire, D. (2014). New approach to proportion pervious concrete, “Construction and Building Materials”, v.62, p.38–46.