

## **Análise das propriedades físicas dos dormentes de concreto utilizados nas linhas do metrô em Recife/PE**

### **Analysis of the physical properties of the concrete sleepers used in the subway lines in Recife/PE**

DOI:10.34117/bjdv7n8-164

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 09/08/2021

#### **Kaique Batista da Silva**

Engenheiro Civil, UNICAP

Universidade Católica de Pernambuco

Av. Jurandir de Brito, 69, Centro, Sanharó - PE, CEP: 55.250-000

E-mail: kbsilva1@gmail.com

#### **Glauber Carvalho Costa**

Msc. em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, UFPE

Universidade Católica de Pernambuco

Rua do Príncipe, 526 - Boa Vista, Recife - PE – 50.050-900

E-mail: glauber.carvalho@unicap.br

#### **Alexsandro da Silva**

Engenheiro Civil, UNICAP

Mestrando em Engenharia Civil – PEC/POLI - Universidade de Pernambuco

PeC Projetos e Consultoria Ltda

Endereço: Rua Jacó Velosino, 290, Sala 202, Casa Forte, Recife - PE, CEP: 52.061-410

E-mail: alexdsilva\_31@hotmail.com

#### **Évele Mayara Barros da Silva**

Pós-Graduada em Engenharia Ambiental e Saneamento, Estácio

Graduação em Engenharia Ambiental- ASCES-UNITA

Rua Professora Dalva Maria Alves, 35-Boa Vista, Bonito-PE, CEP: 55.680-000

E-mail: evelebarros123@gmail.com

#### **Gisellia Muniz da Silva**

Pós-Graduada em Engenharia Ambiental e de Saneamento, Estácio

Mestranda em Engenharia Civil – PEC/POLI - Universidade de Pernambuco

Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001

E-mail: gms1@poli.br

#### **Kássia Carneiro da Silva Santana**

Pós-Graduada em Engenharia Ambiental e de Saneamento, Estácio

Mestranda em Engenharia Civil – PEC/POLI - Universidade de Pernambuco

Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001

E-mail: kcass@poli.br

**Eliana Cristina Barreto Monteiro**

Universidade de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco  
Professora Livre Docente  
E-mail: eliana@poli.br

**RESUMO**

Entre os anos de 2001 e 2002 foi realizada a expansão do metrô de superfície da Região Metropolitana do Recife, com a implantação da linha SUL, abrangendo uma extensão 19 km, entre as estações de Recife até Camaragibe. Onde foram fabricados, aproximadamente, 60.000 dormentes monoblocos protendidos pré-tensionador. Estimou-se um concreto com fck aos 28 dias, de 45 Mpa e resistência característica à tração na flexão, aos 7 dias, de 5 Mpa, sendo utilizado o sistema de cura a vapor. Para tanto, foi utilizado concreto sem emprego de adição mineral e aditivo, sendo considerado potencialmente como Concreto de Alto Desempenho (CAD), no qual ao longo dos anos apresentou fissuras podendo assim comprometer o seu desempenho e funcionalidade do metrô. Dessa forma, neste estudo buscou-se avaliar as propriedades físicas desse concreto, através de ensaios efetuados nos dormentes fabricados entre 2001 e 2002. Para obter-se o resultado do ensaio de propriedade física de Velocidade de Propagação do Som, de ondas ultrassônicas, foi realizado ensaio de não destrutivo, que classificou o concreto estudado como durável, conforme as análises desenvolvidas, e quando comparado ao estudo de ANDRADE (2001), houve uma diferença a menor de 350m/s. Já para o de determinação da absorção de água e índice de vazios, que é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, foi realizado ensaio de acordo com a NBR 9778/2009. Os resultados obtidos apresentaram-se, de modo geral, dentro do esperado e atendendo às normas em vigor.

**Palavras-chave:** Concreto, Dormentes, Propriedades físicas

**ABSTRACT**

Between 2001 and 2002 the expansion of the surface metro in the Metropolitan Region of Recife was carried out, with the implementation of the SUL line, covering an extension of 19 km, between the stations from Recife to Camaragibe. Where approximately 60,000 prestressed pre-tensioner monoblock sleepers were manufactured. A concrete with fck at 28 days, 45 Mpa and characteristic flexural tensile strength, at 7 days, was estimated at 5 Mpa, using the steam curing system. For this purpose, concrete without the use of mineral addition and additive was used, potentially being considered as High Performance Concrete (CAD), which over the years presented cracks which could compromise its performance and functionality of the subway. Thus, in this study, we sought to evaluate the physical properties of this concrete, through tests carried out on sleepers manufactured between 2001 and 2002. a non-destructive test was performed, which classified the studied concrete as durable, according to the developed analyses, and when compared to the study by ANDRADE (2001), there was a smaller difference of 350m/s. For the determination of water absorption and void index, which is the ratio between the volume of permeable pores and the total volume of the sample, a test was carried out in accordance with NBR 9778/2009. The results obtained were, in general, within the expected range and in compliance with current standards.

**Keywords:** Concrete, Railroad sleepers, Physical properties

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil vem se destacando mundialmente na produção de Concreto de Alto Desempenho - CAD para diversos tipos de construções, inclusive na fabricação de dormentes para linhas férreas. No final de 2001 construtores, consultores, calculistas, empreendedores e fornecedores de concreto motivados pelo grande desafio no uso do Concreto de Alto Desempenho - CAD desenvolveram um concreto resistente e durável, capaz de romper a barreira dos 100 Mpa em obra, conseguindo ir além do esperado e levaram o Brasil ao recorde mundial, com o concreto colorido de alto desempenho com fck de 115 Mpa e resistência média de 125 Mpa e Máxima de 149,5 aos 28 dias.

Segundo TUTIKIAN *et al* (2011) o CAD possui características e desempenho distintos quando comparado ao concreto convencional, pois o construtor empenha-se em atender as exigências requeridas pelo projetista de estruturas tanto para a resistência mecânica e física quanto para sua integridade e durabilidade.

Pesquisadores vêm desenvolvendo meios e sistemas de produção que contribuam com a segurança e com a durabilidade das estruturas. Um desses estudos teve como resultado um Concreto de Alto Desempenho (CAD), que vem sendo aperfeiçoado e estudado desde a década de 50 e sua utilização começa a ser inserida em diversos ramos da construção civil.

Neste contexto, surgiram os dormentes de concreto protendido que utilizam o CAD para sua produção. As ferrovias ao redor do mundo viram uma boa oportunidade de introduzir o concreto nesse sistema.

A Norma Brasileira NBR 11709/2015, define os dormentes como sendo os componentes transversais da superestrutura da via permanente, cujas funções principais são manter os trilhos na bitola e inclinação especificada, além de transmitir as cargas do trilho para plataforma ferroviária por intermédio do lastro.

SANTOS (2016) atribuem características imprescindíveis que os dormentes devem apresentar para desempenhar de forma efetiva seus objetivos são elas: sejam duráveis; resistam aos deslocamentos longitudinais e laterais da via; disponham de uma fixação precisa ao trilho; tenham espessura que forneçam rigidez necessária, proporcionando, porém, certa elasticidade; possibilitem o nivelamento do lastro em sua base, com relativa facilidade; forneçam resistência suficiente para suportar os esforços solicitantes; possuam dimensões (comprimento e largura) que permitam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não exceda certos limites.

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar as propriedades físicas dos dormentes de concreto utilizados nas linhas do metrô de Recife durante sua expansão que ocorreu entre os anos 2001 e 2002. Um dos principais problemas que motivou a realização deste trabalho foi a presença de fissuras nesses dormentes.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Existem fatores externos que devem ser levados em conta, na análise dos dormentes e na realização dos ensaios, que impactam diretamente na vida útil e nos resultados obtidos neste estudo. Alguns destes fatores externos são:

- Condições de exposição;
- Microclima ao redor dos dormentes;
- Traço de concreto;
- Cura do concreto;
- Fabricação dos dormentes.

Quanto ao microclima, pode-se destacar que a RMR está localizada no litoral de Pernambuco, sendo, portanto, considerada potencialmente agressiva, no que diz respeito a ação dos íons cloretos nas estruturas de concreto armado.

A classe de agressividade em que os dormentes estão inseridos, pode ser classificado de acordo com a NBR 6118/2014 como classe II – “Ambiente urbano em meio externo, com risco pequeno de deterioração”. Segundo ANDRADE (2001) os dormentes estão inseridos em um microclima particular, pois, encontram-se quase que totalmente cobertos por um lastro de pedra britada. Apesar de ser uma camada drenante, mantém por mais tempo, nos períodos de inverno, a umidade no seu interior, o que pode favorecer a penetração de agentes agressivos dissolvidos na água.

Com vistas à obtenção das propriedades do CAD utilizado nos dormentes do metrô, foram escolhidas para esse estudo as propriedades físicas de velocidade de propagação de som e índice de vazios.

### 2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 2.1.1 Velocidade de Propagação do Som

A velocidade de propagação de onda ultrassônica é um ensaio não destrutivo mundialmente utilizado, e tem como objetivo avaliar a qualidade do concreto por meio da verificação da homogeneidade e da detecção de eventuais falhas internas, como também a profundidade de fissuras, medindo o tempo que pulsos ultrassônicos percorrem

distâncias através do concreto analisado. Segundo ANDRADE (2001) esta é uma importante ferramenta que auxilia a verificação da qualidade do concreto, conforme apresentado na Tabela 1, (CYTED, 1997) que classifica o concreto quanto a sua qualidade, através da velocidade de propagação. A norma brasileira NBR 8802/2013 determina a metodologia a ser utilizada para a obtenção dos resultados.

Tabela 1: Propagação do som x Qualidade do concreto

Velocidade de propagação	Qualidade do concreto
<2.000 m/s	Deficiente
2.001 a 3.000 m/s	Normal
3.0001 a 4.000 m/s	Alta
>4.000 m/s	Durável

Fonte: (ANDRADE, 2001 apud CYPED,1997)

Com os resultados obtidos nesta etapa será possível mensurar algumas características do concreto, como o módulo de elasticidade dinâmico e estático do concreto através das equações:

Módulo de elasticidade dinâmico:

$$Ed = \frac{\rho \cdot c^2 \cdot (1-\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \times 10^{-9}$$

(1)

Onde:  $Ed$  = Módulo de elasticidade dinâmico do concreto (GPa);

$\rho$  = massa específica do concreto endurecido(kg/m<sup>3</sup>);

$c$  = velocidade do pulso (m/s);

$\nu$  = Coeficiente de Poisson, para METHA; MONTEIRO (1994), varia normalmente entre 0,15 e 0,20.

Módulo de elasticidade estático:

$$K = \rho \cdot c^2 \times 10^{-9}$$

(2)

$$Ec = \frac{K+6,7}{1,7} \quad (3)$$

Onde:  $K$  = Constante de rigidez (GPa);

$Ec$  = Módulo de elasticidade estático do concreto (GPa);

$\rho$  = massa específica do concreto endurecido (kg/m<sup>3</sup>);

$c$  = velocidade do pulso (m/s);

NEVILLE (2015) ressalta que a velocidade do pulso é influenciada por alterações na pasta de cimento, como a relação água/cimento, pela presença de barras de aço que podem distorcer os resultados. Porém, o autor ressalta a importância do ensaio para a verificação de fissuras internas, vazios e a uniformidade do concreto em peças semelhantes.

### 2.1.2 Absorção de Água e Índice de Vazios

A absorção de água é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. O índice de vazios é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra. Tais valores podem ser obtidos de acordo com a determinação da NBR 9778/2005.

Como característica buscada nos CAD's a baixa porosidade e por consequente uma baixa permeabilidade acabam por elevar as resistências e a durabilidade de tais concretos. NEVILLE (2015) define permeabilidade como a facilidade com a qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem se deslocar no interior do concreto.

Os CAD's devem possuir uma densa estrutura da pasta de cimento hidratada, com sistema de poros descontínuos, caracterizando uma alta resistência ao ataque de agentes externos e necessariamente devem possuir baixos valores de absorção e índices de vazios.

Segundo HELENE (1993) sugere que estes ensaios servem de forma complementar para a avaliação da qualidade dos concretos. E atribui a Helene a Tabela 2 que correlaciona a durabilidade em função dos índices aqui obtidos.

Tabela 2: Correlação durabilidade e absorção/índices de vazios

CONCRETO	POROSIDADE	ABSORÇÃO DE ÁGUA
Duráveis	<10%	<4,2%
Normais	10% a 15%	4,2% a 6,3%
Deficientes	>15%	>6,3%

Fonte: (ANDRADE, 2001 apud HELENE,1993)

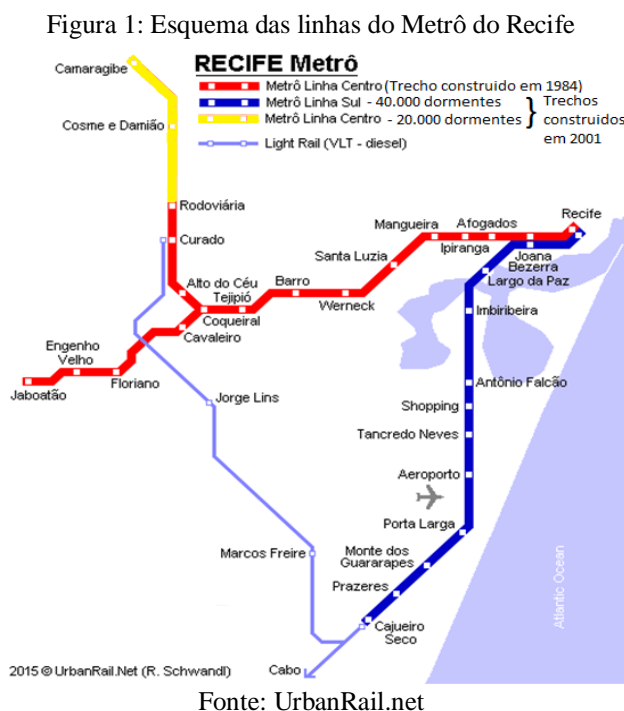
## 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.1 SISTEMA DO METRÔ DA RMR

A Região Metropolitana do Recife (RMR) abrange 14 municípios, ocupando uma área de 2.770 km<sup>2</sup>, com cerca de 3,9 milhões de habitantes. O Sistema de Trens Urbanos do Recife é operado em três linhas férreas, sendo duas eletrificadas e umas operadas por composições dieleis, com extensão total de 71 km.

Esse sistema abrange os municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe e Cabo de Santo Agostinho, com 37 estações, transportando cerca de 400 mil passageiros/dia. A Linha Centro, eletrificada, abrangendo 3 municípios, Recife, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe, com 19 estações em operação, Figura 5, nos trechos Recife/Jaboatão e o ramal Coqueiral/Camaragibe; a Linha Sul também eletrificada, abrangendo 2 municípios, Recife e Jaboatão dos Guararapes, com 10 estações em operação, no trecho Recife/Cajueiro Seco e a Linha Diesel (VLT) abrangendo 3 municípios, Recife, Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho, com 8 estações em operação.

O primeiro trecho da expansão da linha do metrô Centro foi inaugurado em 2002, ligando a Estação Rodoviária à Estação Camaragibe, conforme Figura 1.



Entre os anos de 2001 e 2002 foram fabricados nas instalações da CAVAN Prémoldados S/A, no bairro da Imbiribeira em Recife, aproximadamente 60.000 dormentes monoblocos, conforme a Figura 2, protendidos pré tensionado, para as obras da linha norte/sul do metrô do Recife, instalados em toda linha SUL, entre as estações de Recife e Cajueiro Seco (extensão de 14,3 km) e em parte da linha Centro, entre as estações Rodoviária e Camaragibe (extensão de 4,7 km).

Os dormentes possuem uma seção trapezoidal variando, na seção central, 250 mm de base maior e 154 mm de base menor, ao longo do dormente. Cada dormente possui 8



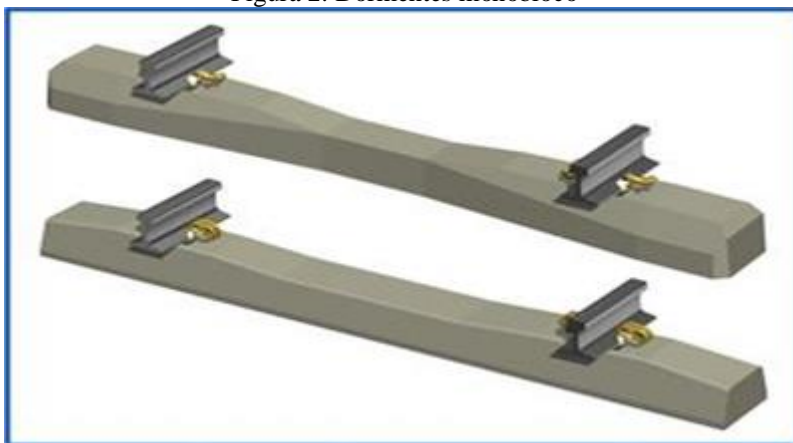
fios, 4 fios alinhados na região superior da seção transversal, a uma distância de 185 mm da base maior, e 4 fios alinhados na região inferior, a uma distância de 100 mm dessa mesma base. Os fios são CP160 RB, com diâmetro de 7 mm.

Para o desenvolvimento dos dormentes as especificações básicas foram as seguintes: bitola de 1.600 mm; trilho TR 57, espaçamento entre os dormentes de 600 mm, carga máxima por eixo de 220 kN, velocidade máxima do trem de 90 Km, raio máximo de curvatura de 312 m, rampa máxima de 2%, tensão de escoamento de 400 MPa, tensão de ruptura de 1600 MPa,  $F_{ck}$  do concreto de 45 MPa, resistência à compressão no momento de protensão de 35 MPa, resistência à tração na flexão aos 7 dias de 5 MPa, relação água/cimento máxima 0,38, diâmetro máximo dos agregados de 32 mm.

As solicitações de carregamento para as quais os dormentes foram projetados foram:

- Nos apoios dos trilhos:  $P = 162$  kN (Momento Positivo) e  $P = 149$  kN (Momento Negativo);
- No centro do dormente:  $P = 34$  kN (Momento Positivo) e  $P = 76$  kN (Momento Negativo);
- 

Figura 2: Dormentes monobloco



Fonte: Dorbrás, 2012.

As Figuras 3 e 4 apresentam os dormentes assentados na via, e fotos foram feitas pela equipe do METROREC como parte do acompanhamento periódico que vem sendo realizado para o monitoramento da evolução do quadro fissuratório.



Figura 3: Face superior fissurada



Fonte: CBTU/METROREC

Figura 4: Fissuras longitudinais nos dormentes



Fonte: CBTU/METROREC

#### 4 RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Para realização dos ensaios do presente trabalho foram extraídas amostras de 1 dormente do lote de 2001/2002. O dormente foi coletado do pátio de manobra da estação central do Recife, para as instalações laboratoriais da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), sob supervisão do funcionário Francisco de Assis (CBTU/METROREC). A coleta foi realizada pelos alunos da UNICAP, foi utilizado um caminhão tipo baú e um macaco hidráulico (Figura 5). O manuseio, acomodação e o transporte dos dormentes foram feitos de forma que os exemplares não sofressem choques ou carregamentos indesejáveis.

Figura 5: Remoção e acomodação dos dormentes no caminhão



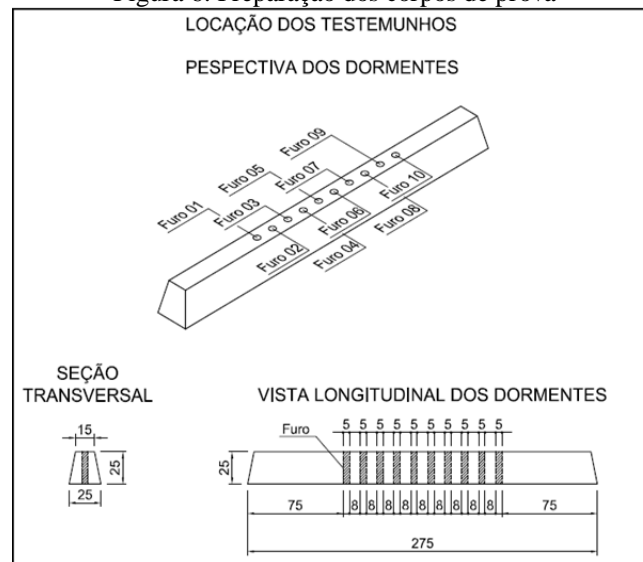
Fonte: SANTOS (2016)

#### 4.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O material foi acomodado no laboratório de materiais da UNICAP para iniciar sua preparação para a extração dos testemunhos.

A extração ocorreu de forma a aproveitar o máximo possível de testemunhos, visto o número reduzido de amostras. Foram extraídos 10 (dez) testemunhos da parte central do dormente obedecendo um espaçamento entre eles de 8 cm conforme Figura 6.

Figura 6: Preparação dos corpos de prova



Fonte: Autores

A extração foi realizada pelos autores, com o auxílio do equipamento fornecido pela universidade, Figura 7, os testemunhos extraídos tinham dimensões aproximadas de

50 mm de diâmetro por 250 mm de altura. Durante a extração alguns testemunhos saíram quebrados na altura das fissuras visualizadas externamente conforme Figura 8.

Figura 7: Equipamento utilizado na extração dos testemunhos



Fonte: Autores

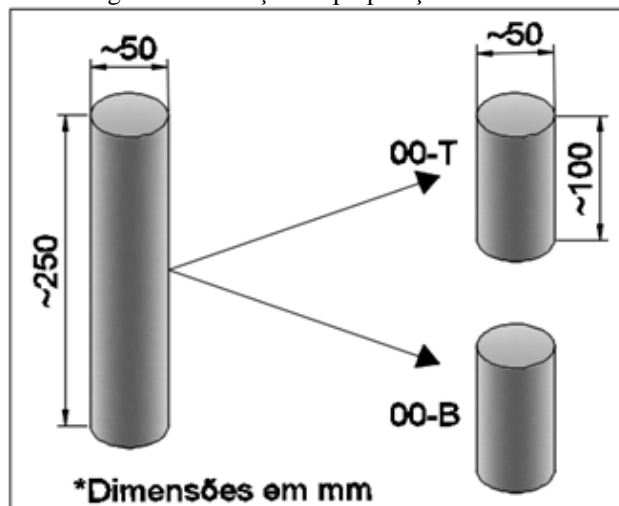
Figura 8: Quebra do testemunho na altura da fissura



Fonte: Autores

Os testemunhos que foram retirados sem danos, foram preparados para obtenção de Corpos de Provas (CP's), com dimensões aproximadas de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura (fig. 9). Os CP's foram marcados de acordo com sua posição em relação ao testemunho 00-B para os CP's na base (00 refere-se ao número do furo e B em relação à base) e 00-T para os CP's no topo do testemunho (00 refere-se ao número do furo e T em relação ao topo), os procedimentos de extração e preparação obedeceram ao que está disposto na NBR 7680-1/2015.

Figura 9: Ilustração da preparação dos CP's



Fonte: Autores

Foi possível extrair 14 corpos de prova que foram utilizados para realização dos ensaios, as dimensões estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Dimensões dos Corpos de Prova

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)
7-T	44,50	97,00	377,70
09-T	44,50	96,30	374,90
06-T	44,50	98,40	385,60
05-T	44,50	99,70	388,10
02-T	44,50	98,10	379,10
03-B	44,50	97,00	377,20
08-T	44,50	98,80	388,20
08-B	44,50	92,20	357,70
06-B	44,50	97,60	381,40
05-B	44,50	96,00	373,00
01-T	44,50	95,50	370,30
03-T	44,50	101,00	378,00
04-B	44,50	107,80	400,90
09-B	44,50	100,00	375,00

Fonte: Autores

#### 4.2 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

O ensaio para a determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas foi realizado nos CP's: 07-T, 05-T, 03-B e 01-T. Ele seguiu as recomendações descritas na NBR-8802 (20013), medindo o tempo que pulsos ultrassônicos percorrem distâncias



através do concreto analisado, conforme Figura10, sendo as medições realizadas na direção perpendicular ao eixo longitudinal do dormente. Foram realizadas análises comparativas dos resultados obtidos, com as classificações de velocidades de propagação do som em concreto.

Figura 10: Realização do ensaio de velocidade de onda ultrassônica



Fonte: Autores

A propagação da onda ultrassônica nos CP's do dormente apresentou uma velocidade média de 4720 m/s. A amostragem apresentou um desvio padrão de 136 m/s, obtendo um coeficiente de variação de 2,88%.

Assim, os resultados obtidos conforme descritos na Tabela 04, podem ser classificados como concreto como durável, pois possui velocidade média superior a 4000 m/s.

Tabela 4: Resultado do ensaio de Velocidade de onda Ultrassônica

Corpo de Prova	Distância dos transdutores (cm)	Velocidades do pulso (m/s)	Ed (Gpa)	Ec (Gpa)
01-T	9,55	4798,99	51,23	36,49
03-B	9,70	4708,74	49,32	35,28
05-T	9,97	4839,81	52,11	37,05
07-T	9,70	4532,71	45,70	32,98
<b>MÉDIA</b>		4720,06	49,59	35,45
<b>DESVIO PADRÃO</b>		136,38	2,84	1,80

Fonte: Autores

$E_d$  (GPa) = módulo de elasticidade dinâmico,

Onde:  $\rho = 2402,95 \text{ kg/m}^3$  (média obtida no ensaio de absorção)

$c$  = velocidade do pulso (m/s)

$v = 0,175$  (METHA; MONTEIRO, 1994)

$E_c$  (GPa) = módulo de elasticidade estático em função de  $K$  (constante de rigidez) (ANDRADE, 2001 apud NILSEN; AiTCIN, 1992), onde:

Onde:  $K$  = constante de rigidez (GPa)

$\rho = 2402,95 \text{ kg/m}^3$  (média obtida no ensaio de absorção)

$c$  = velocidade do pulso (m/s)

Com estes valores ainda foi possível realizar a determinação dos módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos que tiveram como resultado os valores de 49,59 e 35,45 GPa, respectivamente. Valores que estão dentro do intervalo previsto na NBR 6118 (2014), onde é estimado os valores do módulo de elasticidade para as diferentes classes de concreto.

Os resultados obtidos por ANDRADE (2001), para esta propriedade, apresentaram velocidade média de 5068 m/s e módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos com valores de 56,90 e 39,90 GPa, respectivamente.

Na comparação dos resultados, pode ser observada uma diferença de aproximadamente 350 m/s na velocidade média, tal alteração pode estar associada às dimensões das peças analisadas em ambos os trabalhos, em ANDRADE (2001) o ensaio foi realizado em peças prismáticas com dimensões superiores aos CP's analisados neste trabalho, além dos transdutores apresentarem área de contato superior ao diâmetro dos CP's, podendo gerar alteração no resultado.

#### 4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Para determinação da absorção e índice de vazios, foram utilizados os CP's: 03-T, 04-B e 09-B extraídos do dormente, obedecendo às prescrições da NBR 9778 (2009). A absorção média obtida foi de 3,64 % e o índice de vazios de 8,98%. Estes valores classificam o concreto como durável de acordo com os resultados obtidos e demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Corpo de Prova	Umidade de equilíbrio %	Absorção %	Índice de vazios%	$\delta_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_2$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_3$ (kg/m <sup>3</sup> )
03-T	2,65	3,76	9,04	2406,43	1496,70	2496,83
04-B	2,59	3,67	8,78	2391,22	1480,42	2478,90
09-B	2,59	3,79	9,13	2411,21	1502,66	2502,51
MÉDIA	2,61	3,74	8,98	2402,95	1493,26	2492,75

Fonte: Autores

$\delta_1$  – massa específica da amostra seca em estufa

$\delta_2$  – massa específica da amostra após imersão

$\delta_3$  – massa específica da amostra após saturação

Outro dado que pode estar diretamente associado às manifestações patológicas encontradas é a umidade de equilíbrio obtida durante o ensaio, que apresentou valor médio de 2,61 %, isto representa aproximadamente 70 % da absorção máxima do concreto. Este valor está dentro do intervalo e das médias apresentadas para umidade relativa do ar na região.

A partir destes dados é possível mensurar que, este concreto contém aproximadamente 70 litros de água por metro cúbico, ou seja, 9,6 litros de água por dormente. As mesmas premissas podem ser observadas em ANDRADE (2001), onde foram obtidos valores médios de absorção de 4,10 % e o índice de vazios de 9,60%, com umidade de equilíbrio de 2,90%.

Realizando as mesmas relações entre a umidade de equilíbrio e a absorção de água é possível observar que ambas as pesquisas encontraram os valores aproximados de 70% de absorção máxima do concreto e observar a mesma proporção de água presente nos dormentes de aproximadamente 9 litros/dormente, característica comum que pode ser atribuída a umidade relativa do ar da RMR, onde estão inseridos todos os dormentes.

## 5 CONCLUSÃO

Com os resultados acima descritos conclui-se que o concreto utilizado na fabricação dos dormentes em 2001, atende as especificações de um concreto de alto desempenho, quanto às propriedades físicas de velocidade de propagação do som e absorção de água e índice de vazios.

A análise apresentou resultados com valores próximos, permitindo constatar que as manifestações patológicas ainda não representam, em geral, um perigo às propriedades



do concreto, mas deve ser monitorada, para que no futuro possa se verificar a evolução destas possíveis manifestações, assim como mensurar seus reais efeitos as propriedades do concreto. Tendo em vista, que algumas manifestações patológicas necessitam de longos períodos, para apresentarem seus efeitos deteriorantes, o que dificulta a realização de estudos.

## REFERÊNCIAS

AİTCIN, P.-C. High Performance Concrete. 1ª ed. Londres, E & FN SPON, 1998.

ANDRADE, T. W. C. O. (2001). Avaliação do concreto de alto desempenho utilizado nos dormentes de concreto protendido nas linhas do metrô da região metropolitana do recife (dissertação de mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – NBR 9778. Rio de Janeiro, versão corrigida 2009.

\_\_\_\_\_. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto; Parte 1: Resistência à compressão axial – NBR 7680-1. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – NBR 5738. Rio de Janeiro, versão corrigida 2016.

\_\_\_\_\_. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento – NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica – NBR 8802. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência – NBR 8953. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. Dormente de concreto - Projeto, materiais e componentes Procedimento – NBR 11709. Rio de Janeiro, 20015.

\_\_\_\_\_. Edificações habitacionais — Desempenho – NBR 15575-1. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. Edificações habitacionais — Desempenho – NBR 15575-2. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. Edificações habitacionais — Desempenho – NBR 15575-3. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. Edificações habitacionais — Desempenho – NBR 15575-4. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. Edificações habitacionais — Desempenho – NBR 15575-5. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento – NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

BONATO, Luciano C. (2015) Reação Alkali-Agregado, principais causas e estudo de reatividade potencial. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão.

CADORE, William W.;(2008) Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada.150f. (dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

CALDARONE, Michael A. High-strength concrete: a practical guide. Taylor & Francis, 2009. p.9-12

CBTU (2015) Relatório de cadastramento e acompanhamento dos dormentes de concreto protendido da Cavan usados no METROREC. Companhia Brasileira de Trens Urbanos, Recife, PE.

DORBRÁS (2015) Catálogo dorbrás. Companhia brasileira de Dormentes. Disponível em: <[http://dorbras.com.br/Catalogo\\_Dorbras.pdf](http://dorbras.com.br/Catalogo_Dorbras.pdf)>. Acesso em: junho 2021.

GUIMARAES, J. P. Z. Estudo experimental das propriedades do concreto de alto desempenho (dissertação de Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO. Rio de Janeiro.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese de Livre docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

MEHTA, K; MONTEIRO, P.J.M. Concreto – Estrutura, Propriedades e Materias.1. ed. São Paulo: Pini, 1994. 573p.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto. 5. ed. São Paulo: Pini, 2015. 828 p.  
REUNION INTERNATIONALE DE LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX.  
CPC-18: Measurement of hardened carbonation depth. (RILEM Recommendations CPC-18. Materials and Structures, [s.n.], p.453-455,1998.

SANTOS, M.T.S. S; (2016). Estudo sobre dormentes ferroviários: tipo ensaios tecnológicos;( Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Católica de Pernambuco. Recife.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. [5. reimpr. 2009]. São Paulo: Pini, 1998. 74p.

TECOMAT (2014) Relatório de Avaliação dos Dormentes de Concreto Protendido utilizado no Sistema de trem Urbano da RMR. Recife.

TUTIKIAN, B.; ISAIA, Geraldo C.; HELENE, Paulo. Concreto de Alto e Ultra Alto Desempenho. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 2, p. 1283-1325.

TUUTI, K. Corrosion steel in concrete, Swedish Cement and Concrete, Stockholm, 1982. p. 25-26.

XINCHENG, Pu. Super-High-Strength High Performance Concrete. CRC Press, New York, 2012. p.15-17.

ZONGJIN LI. Advanced Concrete Technology. John Wiley & Sons, pp 506, 20