



ANÁLISE DE MODELOS PARA PREVISÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COMPACTO COM ROLO

Hedelvan Emerson Fardin¹

¹ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina, hedelvan@gmail.com

RESUMO

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um material bastante empregado em obras de pavimentação, comumente comparado ao Concreto Convencional (CC). Embora, a tecnologia do CC seja bem desenvolvida e capaz de prever propriedades através de modelos matemáticos, o mesmo não se aplica ao CCR. Ademais, sob a perspectiva dos métodos empíricos-mecanicistas de dimensionamento de pavimentos, os materiais precisam ser caracterizados com intuito de representar seu desempenho em campo. Todavia, o Brasil ainda carece de investimentos em infraestrutura para analisar toda demanda técnica para execução de obras, assim como, dependendo do projeto, o orçamento não abrange tantos recursos para caracterização dos materiais em etapas iniciais. Portanto, seria viável a utilização de modelos confiáveis para estimar algumas propriedades mecânicas do material, sem que houvesse a necessidade de realizar tantos ensaios laboratoriais no anteprojeto. Isso pouparia tempo e recursos. Com o objetivo geral de analisar modelos de previsão de propriedades mecânicas que podem ser aplicados a misturas de CCR brasileira, foram selecionadas misturas de CCR e modelos preditores para comparar resultados teóricos e laboratoriais. Ficou evidente que, dependendo da mistura ou da propriedade mecânica estimada, os modelos selecionados não resultam em valores confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto compactado com rolo, propriedade mecânicas, modelos preditivos.

ABSTRACT

Roller Compacted Concrete (RCC) is a material widely used in paving works, commonly compared to Conventional Concrete (CC). Although, the CC technology is well developed and capable to predict properties through mathematical models, the same does not apply to the RCC. Furthermore, from the perspective of the empirical-mechanistic methods of pavement design, the materials need to be characterized to represent their performance in the field. However, Brazil still lacks investments in infrastructure to analyze all the technical demands for the execution of constructions, as well as, depending on the project the budget does not include so many resources for characterizing the materials on initial design steps. Therefore, it would be feasible to use reliable models to estimate some mechanical properties of the material, without the need to perform so many laboratory tests on the preliminary design. This would save time and resources. With the main objective of analyzing predictive models of mechanical properties that can be applied to mixtures of Brazilian RCC, mixtures of RCC and predictive models were selected to compare theoretical and laboratory results. It was evident that, depending on the mixture or the estimated mechanical property, the selected models does not result in reliable values.

KEYWORDS: Roller compacted concrete, mechanical properties, predictive models.

1. INTRODUÇÃO

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um material com determinada versatilidade para aplicação em obras hidráulicas e de pavimentação. Com vistas à



pavimentação, o material pode ser empregado em camadas de sub-base, base e revestimento de rodovias ou vias urbanas, dependendo das propriedades mecânicas e o atendimento às normas vigentes de pavimentação.

O desempenho do CCR está bastante ligado às propriedades físicas e mecânicas dos agregados que o compõem, bem como à proporção de materiais da mistura, especialmente na quantidade de água empregada. Em comparação ao Concreto Convencional (CC), o CCR apresenta um baixo consumo de ligante e, proporcionalmente, um teor de água reduzido para alcançar resistências equiparáveis ao CC de mesmo consumo de cimento, sob a ação externa de compactação.

Se observado o método empírico-mecanicista de dimensionamento de pavimentos, sob fase de implantação no Brasil, poderá ser percebido que, para se empregar uma mistura de CCR como novo material em uma seção de pavimentos, alguns ensaios mínimos de laboratório precisam ser realizados: resistência à tração na flexão aos 28 dias, ensaio de fadiga, módulo de ruptura ou módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e massa específica, como apontam Franco e Motta (2018). Nesse contexto, embora necessário, a realização de todos os ensaios pode estar fora do contexto de algumas realidades brasileiras quando consideradas as etapas de anteprojeto ou mesmo a falta de recursos técnicos e financeiros para a execução de todos os ensaios em análises preliminares.

Levando-se em consideração que o CC tem alguns modelos recomendados por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como exemplo a Norma Brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), poder-se-ia empregar modelos matemáticos capazes de prever propriedades mecânicas do CCR sem que seja necessária a execução de todos os ensaios. Portanto, o objetivo principal deste estudo é analisar modelos de previsão de propriedades mecânicas que podem ser aplicados a misturas de CCR brasileiras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O CCR não apresenta abatimento no ensaio de tronco de cone, em seu estado fresco, portanto é considerado um tipo de concreto seco. Para atingir as resistências de projeto, há a necessidade de compactá-lo com uso de rolos compressores ou vibratórios até se atingir a altura da camada e por consequência, as propriedades mecânicas requeridas à obra (VALENCIA, 1999; HARRINGTON *et al.*, 2010; MEDINA; MOTTA, 2015). O método construtivo em si apenas é passível de execução se o material for seco o suficiente para



suportar o peso do rolo compactador e úmido o bastante para aceitar sua espalhabilidade (HARRINGTON *et al.*, 2010; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Muito similar ao CC, o CCR apresenta um volume de agregados próximo a 80% do volume total de materiais da mistura (VALENCIA, 1999; HARRINGTON *et al.*, 2010; RAO *et al.*, 2016). Isso infere que a produção desse tipo de concreto requer uma grande quantidade de agregados e ao se refletir sobre as questões ambientais de exploração e uso de agregados naturais, a pauta de emprego de agregados reciclados como insumo para materiais de pavimentação fica em evidência e vai de encontro às recomendações de Balbo (2007) e Bernucci *et al.* (2008). Quanto aos outros insumos necessários para produção de CCR, não há uma grande diferença daqueles utilizados para CC: água, cimento Portland e eventualmente, algum aditivo ou adição mineral (VALENCIA, 1999; SENÇO, 2008; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Além disso, segundo Bernucci *et al.* (2008), o CCR destaca-se dentre os materiais estabilizados frequentemente empregados em obras brasileiras de pavimentação nas camadas de reforço de subleito, sub-base e base. Todavia, a depender do consumo de cimento da mistura e do tráfego da via, o CCR pode vir a ser empregado como revestimento. Quando empregado na camada de base, para constituição de uma seção de pavimento semirrígido (BALBO, 2007), a capacidade de suporte do pavimento é otimizada, haja vista que não apenas a camada de revestimento precisa resistir aos esforços de tração e tal solicitação decorrente do tráfego pode ser redistribuída entre as camadas de base e revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008; RITH *et al.*, 2018).

Atualmente, está em fase de implantação no Brasil, um método de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos, nomeado como Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa). O *software* MeDiNa é bastante intuitivo e de fácil utilização, mas como todo método, tem suas peculiaridades. Por exemplo, ao se dimensionar uma seção de pavimento semirrígido, utilizando materiais além do banco de dados próprios, há de se realizar ensaios de caracterização dos materiais a serem incluídos na seção de pavimento. Consoante a Franco e Motta (2018), no caso do CCR, minimamente deve-se informar o coeficiente de Poisson do material, massa específica, resistência à tração na flexão aos 28 dias, módulo de ruptura e os coeficientes do modelo de fadiga.

A partir disso, a depender da estrita impossibilidade de realização de alguns ensaios de caracterização do material, poderiam ser utilizados alguns modelos capazes de estimar com segurança tais propriedades. Se pensar no caso no CC, a NBR 6118 (ABNT, 2014) permite que sejam adotados valores para resistência à tração direta do concreto de classe de resistência de até 50 MPa, através da Equação 1, quando é inviável a execução do ensaio. Além disso, pode-se citar também os modelos propostos pelo *American Concrete Institute* (ACI) através das recomendações 363R-92 (ACI, 1997) e 318-99 (ACI, 1999), respectivamente para estimar a resistência à tração na flexão (Equação 2) e a resistência à tração por compressão diametral (Equação 3).

Não há, por exemplo, uma similaridade de estimativas para o CCR em normas brasileiras. Todavia, em alguns estudos encontram-se modelos preditivos que foram ajustados às particularidades do CCR, os quais podem ser de bom proveito. Chhon *et al.* (2018) estudaram a relação entre a resistência à compressão e a resistência à tração do CCR e propuseram três diferentes modelos de previsão: para estimar a resistência à tração por compressão diametral (f_{sp}), com coeficiente de determinação, $R^2 = 0,62$ e média quadrática do erros, $MSE = 0,062$ (Equação 4); para estimar a resistência à tração na flexão (f_r), considerando o tempo, em dias do ensaio (d), com $R^2 = 0,72$ e $MSE = 0,058$ (Equação 5); e para prever a resistência à tração na flexão sem considerar o tempo de cura do concreto, com $R^2 = 0,59$ e $MSE = 0,07$ (Equação 6). Os modelos supracitados encontram-se sumarizados na Tabela 1.

Tabela 19 – Equações para estimativa de propriedades do CC e CCR a partir da resistência à compressão

Número da equação	Modelo	Aplicação original	Fonte
1	$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$	CC	ABNT (2014)
2	$f_r = 0,94 \cdot f_{ck}^{0,5}$	CC	ACI (1997)
3	$f_{sp} = 0,56 \cdot f_{ck}^{0,5}$	CC	ACI (1999)
4	$f_{sp} = 0,47 \cdot f_{ck}^{0,511}$	CCR	Chhorn et al. (2018)
5	$f_r = 1,143 \cdot f_{ck}^{0,369} \cdot d^{0,11}$	CCR	Chhorn et al. (2018)
6	$f_r = 0,678 \cdot f_{ck}^{0,605}$	CCR	Chhorn et al. (2018)

Nota: $f_{ct,m}$ é a resistência a tração direta média do concreto, em MPa; f_{ck} é a resistência à compressão característica do concreto, em MPa.

Cabe ressaltar aqui, que a Equação 1 também corresponde ao modelo proposto pelo *Comité Euro-Internacional du Béton* (CEB) e *Fédération Internationale de la Précontrainte* (FIP) de 1990. Ademais, é compreensível que os modelos matemáticos das Equações 1, 2 e



3 não foram ajustados para CCR, mas é interessante verificar sua aplicabilidade para esse tipo de concreto, ao se considerar que autores como Mehta e Monteiro (2014) reiteram que não há expressivas diferenças de propriedades mecânicas ou de relações das propriedades mecânicas entre o CC e CCR.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa, de caráter quantitativo, estruturou-se em quatro etapas: identificação de modelos matemáticos utilizados para estimar propriedades mecânicas do CC; identificação de modelos ajustados para estimativa de propriedades mecânicas do CCR; seleção de misturas brasileiras de CCR para aplicação dos modelos matemáticos; comparação dos resultados obtidos através dos modelos e dos ensaios laboratoriais consoantes a cada pesquisa.

Quanto às misturas de CCR de pesquisas brasileiras, foram selecionadas aquelas que apresentavam CCR com realização concomitante, aos 28 dias, dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão. Nesse contexto, foram selecionadas as misturas de Toffolo (2015), Borré (2017) e Fardin e Santos (2020).

As misturas de Toffolo (2015) foram produzidas com 280 kg/m³ de cimento CP-V-ARI sob a energia de compactação normal de Proctor. A mistura T1 foi composta apenas com agregados naturais, enquanto a T2 foi composta com escória de aciaria Linz-Donavitz em substituição aos agregados naturais e a mistura T3 com escória de aciaria elétrica em substituição aos agregados naturais.

As misturas de Borré (2017) foram identificadas nesta pesquisa com o prefixo “B”. As misturas B1, B2 e B3 foram produzidas com consumo de cimento CP-II-F 32 igual a 100 kg/m³ e substituição, em massa, do agregado graúdo natural por *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) às taxas de 0%, 15% e 30%, respectivamente. Já as misturas B4, B5 e B6 foram produzidas com o mesmo tipo de cimento de B1, B2 e B3, mas com consumo igual a 150 kg/m³ e substituição da fração graúda dos agregados naturais por RAP às taxas de 0%, 15% e 30%, respectivamente.

As misturas FS referem-se à pesquisa de Fardin e Santos (2020). Elas foram produzidas com cimento CP-V-ARI, de consumo igual a 200 kg/m³ e os agregados graúdos naturais foram substituídos, em massa, pelas porcentagens de 0%, 5%, 15% e 30% de



Agregado Reciclado de Concreto (ARC), respectivamente, resultando nas misturas FS1, FS2, FS3, FS4.

Sumariamente, as propriedades físicas e mecânicas dessas misturas estão apresentadas na Tabela 2, na qual estão listadas as Resistências à Compressão (RC), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTD) e Resistência à Tração na Flexão (RTF).

Tabela 20 - Misturas brasileiras de CCR selecionadas no estudo

Mistura	Consumo de cimento (kg/m ³)	Agregado reciclado (%)	Densidade (g/cm ³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação	RC (MPa)	RTD (MPa)	RTF (MPa)
B1	100	0	2,188	5,45	Intermediária	8,20	0,82	1,12
B2	100	15	2,250	5,00	Intermediária	9,21	1,05	1,12
B3	100	30	2,196	6,00	Intermediária	6,17	0,77	0,87
B4	150	0	2,236	5,55	Intermediária	16,27	2,27	1,96
B5	150	15	2,304	5,75	Intermediária	12,78	1,94	1,90
B6	150	30	2,218	6,00	Intermediária	11,69	1,67	1,92
T1	280	0	2,440	8,10	Normal	35,13	2,38	3,50
T2	280	100	2,820	7,40	Normal	30,42	2,35	3,42
T3	280	100	3,070	8,20	Normal	42,29	2,92	3,90
FS1	200	0	2,309	9,00	Intermediária	16,72	1,96	3,82
FS2	200	5	2,290	9,20	Intermediária	18,65	2,03	3,35
FS3	200	15	2,204	9,60	Intermediária	17,97	1,96	3,78
FS4	200	30	2,203	10,20	Intermediária	15,71	2,12	2,99

Fonte: Adaptado de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

4. RESULTADOS

Ao utilizar os valores de resistência à compressão das misturas apresentadas na Tabela 2 para calcular os possíveis resultados de resistência à tração do CCR, através dos modelos das equações 1, 3 e 4, pode-se evidenciar os resultados apresentados na Tabela 3 e Figura 1. Para efeitos comparativos, foi tomado como referência os valores de RTD obtidos no ensaio de tração por compressão diametral das misturas. Além disso, foi calculada a porcentagem que os resultados obtidos pelos modelos representava em relação ao valor aferido laboratorialmente. Portanto, os valores numéricos apresentados nas colunas Eq.1/RTD, Eq.3/RTD e Eq.4/RTD representam essas porcentagens. Percebe-se que os valores de

resistência à tração por compressão diametral são superestimados, através de quaisquer dos modelos utilizados em relação às misturas B1, B2, B3, T1, T2 e T3.

Tabela 21 - Valores de RTD estimados para as misturas de CCR

Mistura	RTD (MPa)	RTD Eq. 1 (MPa)	RTD Eq. 3 (MPa)	RTD Eq. 4 (MPa)	Eq. 1/ RTD (%)	Eq.3/ RTD (%)	Eq. 4 / RTD (%)
B1	0,82	1,22	1,60	1,38	149	196	168
B2	1,05	1,32	1,70	1,46	126	162	139
B3	0,77	1,01	1,39	1,19	131	181	155
B4	2,27	1,93	2,26	1,95	85	100	86
B5	1,94	1,64	2,00	1,73	85	103	89
B6	1,67	1,55	1,91	1,65	93	115	99
T1	2,38	3,22	3,32	2,90	35	139	122
T2	2,35	2,92	3,09	2,69	124	131	115
T3	2,92	3,64	3,64	3,18	125	125	109
FS1	1,96	1,96	2,29	1,98	100	117	101
FS2	2,03	2,11	2,42	2,10	104	119	103
FS3	1,96	2,06	2,37	2,06	105	121	105
FS4	2,12	1,88	2,22	1,92	089	105	91

Fonte: com base nos resultados experimentais de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

Também pode ser definido que dentre os modelos, a Equação 3, proposta pelo ACI (1999), é o que mais distoia em relação à propriedade aferida. Portanto, a utilização desse modelo para estimar o valor de resistência à tração do CCR a partir do valor observado de resistência à compressão não é recomendada, pois ele tende a superestimar essa propriedade mecânica. Com exceção, é claro, do valor calculado através desse modelo para o CCR B4, em que foi aferida a RTD igual a 2,27 MPa e pelo modelo foi estimado o valor de 2,26 MPa. Outrossim, pode-se também evidenciar que as Equações 1 (ABNT, 2014) e 4 (CHHORN *et al.*, 2018), resultaram em valores bastante próximos entre si para as misturas B4, FS1, FS2, FS3 e FS4.

De forma análoga aos resultados para previsão de RTD, os resultados de RTF e as estimativas pelos modelos selecionados estão apresentados na Tabela 4 e Figura 2. Logo, para composição dessa tabela, foram tomados como referência os resultados de RTF aferidos em laboratório das misturas e calculada a porcentagem estimada através dos modelos, constituindo assim, as colunas Eq.2/RTF, Eq.5/RTF e Eq.6/RTF.

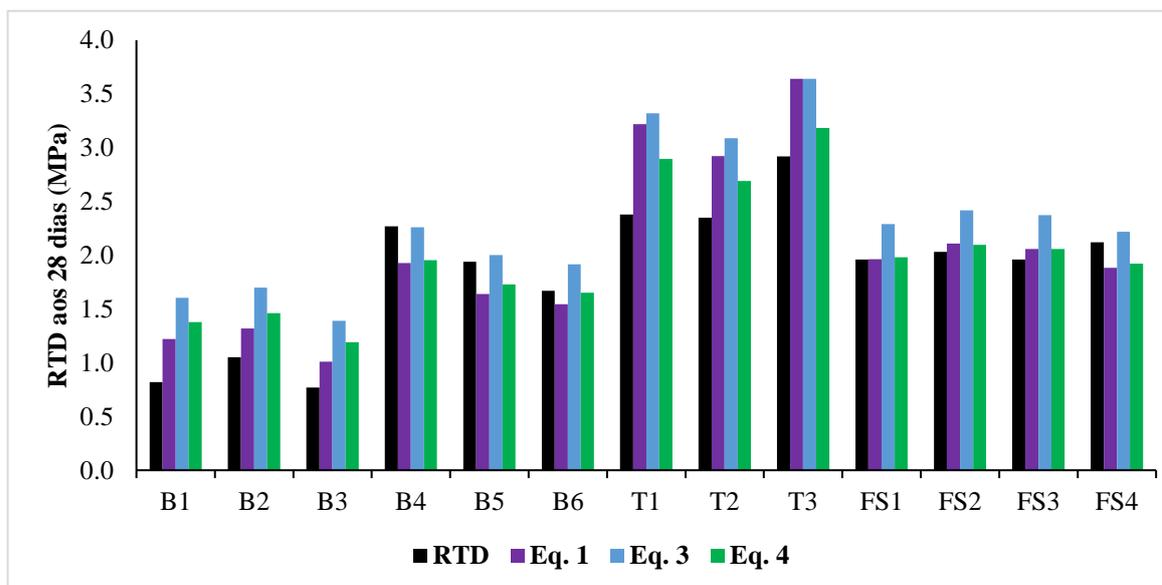


Figura 1 - Comparativo de valores de RTD para as misturas de CCR

Tabela 22 - Valores de RTF estimados para as misturas de CCR

Mistura	RTF (MPa)	RTF Eq. 2 (MPa)	RTF Eq. 5 (MPa)	RTF Eq. 6 (MPa)	Eq. 2/ RTF (%)	Eq. 5/ RTF (%)	Eq. 6 / RTF (%)
B1	1,12	2,69	3,58	2,42	240	320	216
B2	1,12	2,85	3,74	2,60	268	371	234
B3	0,87	2,33	3,23	2,04	193	235	187
B4	1,96	3,79	4,62	3,67	255	334	232
B5	1,90	3,36	4,22	3,17	177	222	167
B6	1,92	3,21	4,09	3,00	167	213	156
T1	3,5	5,57	6,13	5,84	159	175	167
T2	3,42	5,18	5,81	5,35	152	170	157
T3	3,9	6,11	6,57	6,53	157	168	168
FS1	3,82	3,84	4,66	3,73	101	122	98
FS2	3,35	4,06	4,85	3,98	121	145	119
FS3	3,78	3,98	4,79	3,89	105	127	103
FS4	2,99	3,73	4,56	3,59	125	152	120

Fonte: com base nos resultados experimentais de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

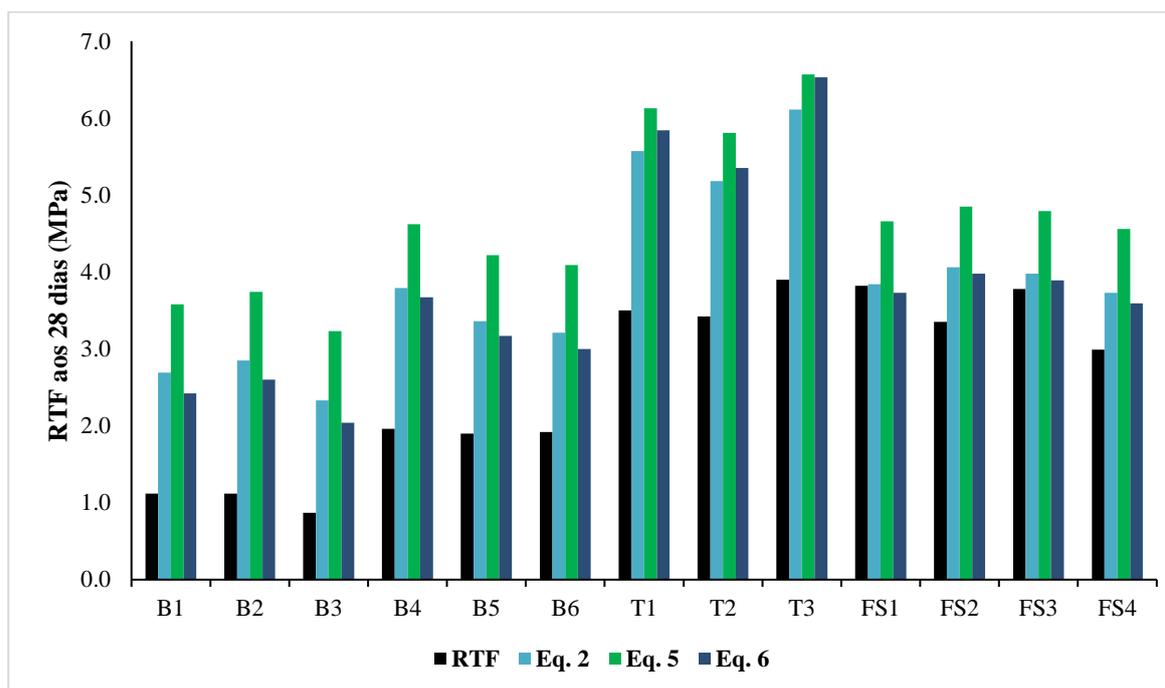


Figura 27 - Comparativo de valores de RTF para as misturas de CCR

O modelo proposto por Chhorn *et al.* (2018), Equação 5, que leva em consideração o tempo de cura do CCR foi o que apresentou maiores valores de RTF aos 28 dias para as misturas selecionadas. A exemplo, se observada a mistura B2, em que o resultado obtido pelo modelo de previsão representou 371% do valor de RTF aferido laboratorialmente. Portanto, dentre os modelos citados, esse é o menos indicado para previsão dessa propriedade mecânica.

De modo geral, os modelos das Equações 2 e 6, indicados pelo ACI (1997) e por Chorn *et al.* (2018), respectivamente pouco diferem entre si para estimar a RTF das misturas de CCR. Todavia, como já mencionado todos eles superestimam tal propriedade desse tipo de concreto. Além disso, no caso das misturas com consumo de cimento igual a 200 kg/m³, essa diferença entre os valores preditos pelas Equações 2 e 6 não é tão distante dos valores aferidos em laboratório, como ocorre nas outras misturas.

5. CONCLUSÕES

Embora seja de extrema importância verificar as propriedades mecânicas dos materiais para os devidos projetos, em algumas situações não há recursos financeiros, tempo hábil ou mesmo desenvolvimento tecnológico suficiente para fazê-lo, especialmente no anteprojeto.



Nessa perspectiva, a estimativa de valores de resistências seria um aliado do profissional. Além disso, para o CC há modelos matemáticos que são utilizados em diversos momentos para prever, por exemplo, o módulo de elasticidade do material ou mesmo a resistência à tração dele. Em contrapartida, para o CCR esta “usabilidade” não é muito evidenciada tendo em vista que os diversos estudos acerca do material ajustam, quando o fazem, modelos de regressão que representam o comportamento das misturas daquelas pesquisas e que não podem ser aplicados a outras misturas.

Logo, essa pesquisa analisou modelos viáveis de serem aplicados a diferentes misturas de CCR brasileiras, inclusive com a utilização de resíduos como agregados e ainda, com consumos de diferentes cimentos, variando entre 100 kg/m^3 e 280 kg/m^3 , o que se subentende que para pavimentação, esses CCR poderiam ser aplicados desde a camada de sub-base à camada de revestimento, de acordo com o consumo de ligante e resistências alcançadas seguindo as diretrizes das normas vigentes de pavimentação.

Assim, dentre as misturas elencadas e os modelos analisados, pode-se observar que para estimar a RTD de CCR, deve ser adotado o modelo sugerido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) referenciado aqui como Equação 1 ou ainda o modelo de Chhorn *et al.* (2018), identificado como Equação 4. Pois dentre as comparações foram os que mais apresentaram resultados teóricos próximos aos resultados de laboratório das misturas. Mesmo assim, sugere-se que entre eles, seja adotada a Equação 4 para tal estimativa, haja vista que o modelo foi ajustado com base em propriedades de CCR, enquanto a Equação 1 é referente ao concreto de uso estrutural.

Já para a predição da RTF, nenhum dos modelos foi tão fidedigno como aqueles para previsão de RTD, de modo geral às propriedades dos CCR analisados. Obviamente que se levada em consideração as misturas de Fardin e Santos (2020), tanto a Equação 2 quanto a 6 poderiam ser utilizadas para a estimativa de tal propriedade. Todavia, isso leva à consideração de que a adoção de um modelo para estimativa de RTF do CCR varia de acordo com a mistura e a confiabilidade da predição é muito variável. Não sendo, nessa perspectiva a adoção de modelo algum sem que seja feita a mensuração em laboratório da propriedade mecânica.

Por fim, pode ser exposto ainda que há uma necessidade de aprofundar esse estudo. Devem ser levadas em consideração outras misturas de CCR, com diferentes proporções de insumos, bem como diferentes consumos de cimento para que se possa alcançar uma



representatividade amostral maior. Como também se pode analisar a previsão de outras propriedades do CCR, como o módulo de elasticidade, por exemplo. Mais além, com maior volume amostral, quiçá seja possível ajustar modelos capazes de prever tais propriedades mecânicas com um nível de variabilidade menor do que os analisados por ora.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**. Projetos de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ACI – American Concrete Institute. **ACI 363R-92**. State-of-the-art Report on High-Strength Concrete. Farmington Hills, EUA: ACI, 1997.

ACI – American Concrete Institute. **ACI 318-99**. Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, EUA: ACI, 1999.

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais de projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS; ABEDA, 2008.

BORRÉ, G. **Estudo de resistência mecânica do concreto compactado com rolo com emprego de material fresado asfáltico para base de pavimentos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

CHHORN, C.; HONG, S.J.; LEE, S.W. Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, 5, p. 215-223, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.09.002>>. Acesso em: 28 set. 2020.

FARDIN, H.E.; SANTOS, A.G. Roller Comapcted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for Paving Bases. **Sustainability**, 12, p.1-16, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su12083154>>. Acesso em: 28 set. 2020.

FRANCO, F.A.C.P.; MOTTA, L.M.G. **Guia para utilização de Método Mecânico-Empírico**: Apresentação dos programas desenvolvidos. Rio de Janeiro: DNIT, 2018. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manual-de-utilizacao-medina.pdf/view>>. Acesso em 28 set. 2020.

HARRINGTON, D.; ABDO, F.; ADASKA, W.; HAZAREE, C.V.; CEYLAN, H. **Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements**. Ames, EUA: Iowa State University, 2010. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/102/>. Acesso em: 27 set. 2020.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.



MEHTA, P.K.; Monteiro, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAO, M.; YANG, H.; LIN, Y.; LI, J. SHI, Y. Influence of maximum aggregate sizes on the performance of RCC. **Construction and Building Materials**, 115, p.42-47, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.172>>. Acesso em: 27 set. 2020.

RITH, M.; KIM, Y.K.; LEE, S.W. Behavior of RCC-base composite pavement for heavy duty area. **Construction and Building Materials**, 175, p. 144-151, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.194>>. Acesso em 27 set. 2020.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2 ed. São Paulo: PINI, 2008.

TOFFOLO, R.V.M. **Pavimentos sustentáveis**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

VALENCIA, L.E.S. Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo (CCR). **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, 8, p. 9-23, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.18359/rcin.1403>>. Acesso em: 27 set. 2020.