

Influência da Energia e Temperatura de Compactação nas Propriedades do Concreto Asfáltico Aplicado em Barragens

Renato Cabral Guimarães

Furnas e Universidade Estadual de Goiás, Goiânia, Brasil, renatocg@furnas.com.br

José Camapum de Carvalho

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapum@unb.br

Márcio Muniz de Farias

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, muniz@unb.br

Sabrina Marques Rodrigues

Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Brasil, sabrinamarques02@hotmail.com

RESUMO: O núcleo de concreto asfáltico é responsável pela vedação da barragem, portanto, o controle dos materiais utilizados na sua composição é de extrema importância. O controle da mistura é realizado utilizando-se a compactação Marshall e posterior a determinação da densidade aparente e do volume de vazios. O volume de vazios é o parâmetro utilizado no controle, portanto é essencial que os ensaios de compactação Marshall em laboratório apresentem características da compactação realizada em campo. Os resultados obtidos nos ensaios de compactação Marshall podem ser influenciados pela energia e temperatura de compactação. Visando verificar a influência da energia e temperatura de compactação nas propriedades do concreto asfáltico (variação dos parâmetros volumétricos e das propriedades mecânicas e hidráulicas) aplicado em núcleo de barragens, por meio do ensaio de compactação de laboratório do tipo Marshall, foi realizada uma pesquisa utilizando o CAP 50-70. Foram realizadas doze combinações de energia e temperatura de compactação. Avaliou-se os parâmetros volumétricos, a resistência à tração e a permeabilidade. Os resultados obtidos demonstraram que a faixa de variação da energia e da temperatura de compactação utilizada não influenciou os parâmetros volumétricos e os coeficientes de permeabilidade. O volume de vazios variou de 1,0 a 1,6% com a variação da energia, e de 1,0 a 1,8% com a variação da temperatura, no entanto, não apresentou tendência definida. O coeficiente de permeabilidade ficou na faixa de 10^{-12} a 10^{-13} m/s independentemente da energia e temperatura de compactação. Na pesquisa foi concluído que a baixa influência da energia de compactação e da temperatura de moldagem deve estar ligada aos altos valores da Relação Betume Vazios (RBV > 90%) das misturas avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Marshall, Energia, Temperatura, Concreto Asfáltico.

1 INTRODUÇÃO

Materiais betuminosos são aplicados em barragens com a função de vedação. A construção de barragens com núcleo de concreto asfáltico desenvolveu-se principalmente na década de 1960 e essa metodologia foi aplicada desde então em mais de cem barragens em vinte países, incluindo o Brasil.

Normalmente, em função de apresentar um bom comportamento de deformações no centro da barragem, o núcleo é construído na região central do barramento e na vertical.

Em barragens com mais de 60 m de altura, o ICOLD (1992) recomenda inclinar o núcleo para jusante, visando evitar separação do aterro de montante e do núcleo na região da crista.

Dentre as características que o concreto

asfáltico deve apresentar quando aplicado em núcleos de barragens, uma das mais importantes é a baixa permeabilidade, para permitir a perfeita estanqueidade. Segundo Kjaernsli *et al.* (1966) *apud* Höeg (1993), coeficientes de permeabilidade inferiores a 10^{-10} m/s são obtidos para volumes de vazios inferiores a 3%.

A mistura mais utilizada em núcleos de barragem é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), sendo que os materiais que são utilizados em sua produção devem ser avaliados antes da aplicação. Segundo o ICOLD (1992), as avaliações destes materiais são realizadas de acordo com os métodos utilizados em investigações de materiais para obras rodoviárias.

Antes da construção devem ser avaliadas as propriedades dos agregados que influenciam na mistura (forma, resistência, adesividade, durabilidade e a composição granulométrica) e deve ser definido o tipo de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Definido o tipo de CAP e as propriedades e composição granulométrica dos agregados, realiza-se a dosagem do concreto asfáltico, objetivando obter a mistura ideal para o projeto. A dosagem do concreto asfáltico é feita com o método de dosagem Marshall, utilizando-se 30 golpes de cada lado do corpo-de-prova, ou seja, energia diferente da normalmente usada em misturas para pavimentação (50 ou 75 golpes de cada lado).

Durante a construção o controle da mistura é realizado utilizando-se a compactação Marshall e posterior determinação da densidade aparente e do volume de vazios. Dois parâmetros utilizados em obras rodoviárias, estabilidade e fluência, não são utilizados em barragens.

O sucesso no controle de concretos asfálticos aplicados em núcleos de barragens depende da compatibilidade entre os ensaios de laboratório e a compactação realizada em campo.

Wang & Höeg (2002) avaliaram a influência do método de compactação nas propriedades de concretos asfálticos aplicados em barragens. A mistura utilizada na pesquisa foi composta por um calcário e CAP B180, segundo a especificação européia. A mistura utilizada possuía curva granulométrica segundo a curva de Füller com diâmetro máximo igual a 16 mm, 12% de filer calcário ($< 0,075$ mm) e 6,7% de

CAP. Foram avaliadas cinco tipos de compactação: método Marshall, método giratório, compactação estática, compactação com vibração e compactação de campo. Os autores verificaram, comparando os métodos de laboratório e campo, comportamento similar entre o método Marshall e as amostras obtidas no campo, no entanto, essas foram mais flexíveis.

Os resultados obtidos nos ensaios de compactação Marshall podem ser influenciados pela energia e temperatura de compactação.

Albuquerque *et al.* (2004) avaliaram a influência da energia de compactação e da temperatura de moldagem nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas atendendo à faixa B do DNER e composta de 5,4% de CAP 20 e agregado do Rio de Janeiro. Na avaliação, variou-se o número de golpes (30, 60 e 90) e a temperatura de compactação (90, 140 e 160°C).

Os autores verificaram que a energia de compactação influenciou no volume de vazios. O volume de vazios variou de 4,35% para 2,35%, quando o número de golpes variou de 30 para 90 e a temperatura era de 160°C, no entanto para a temperatura de 90°C, observou-se pouca variação entre 60 e 90 golpes. Verificou-se também diferença significativa entre os resultados obtidos a 90 e 160°C, no entanto, pouca diferença entre 140 e 160°C.

O objetivo desse trabalho é apresentar os resultados de uma pesquisa onde foi avaliada a influência da energia de compactação e da temperatura de moldagem nas propriedades de concretos asfálticos aplicados em núcleos de barragens utilizando ensaio de compactação de laboratório do tipo Marshall.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Na pesquisa foi utilizado o CAP 50-70, por ser o CAP mais comercializado e aplicado no Brasil, e por apresentar grau de penetração comumente utilizado na execução de misturas betuminosas para núcleos de barragens.

Foram realizados ensaios de caracterização, de acordo com as recomendações das normas da

ABNT, visando conhecer as principais características e verificação do atendimento da especificação vigente da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2005). De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que o CAP utilizado atendia aos limites das características especificadas pela ANP.

2.2 Agregados

A pesquisa foi realizada utilizando-se basicamente os agregados empregados na construção do núcleo asfáltico da UHE Foz do Chapecó. Além desses, foi utilizado para compor o fíler (material passante na peneira nº 200) um calcário empregado na produção do concreto asfáltico da UHE Foz do Chapecó.

2.3 Moldagem dos Corpos-de-Prova

A definição da porcentagem de CAP foi realizada utilizando-se os resultados das dosagens realizadas e apresentadas em Guimarães (2012) e Guimarães *et al* (2014) onde foi avaliada a influência do tipo de CAP. Em função dos resultados obtidos nessas dosagens, definiu-se o teor de CAP igual a 6,5% para essa pesquisa, pois esse atende à recomendação quanto ao volume de vazios (menor que 3,0%) e é próximo do valor utilizado na UHE Foz do Chapecó (variou de 6,3 a 6,6%).

Para atender aos requisitos granulométricos de concretos asfálticos para aplicação em núcleos de barragens, foi utilizada a curva de Füller com diâmetro máximo (D_{max}) igual a 15,9 mm, sendo que os agregados foram compostos utilizando-se as peneiras e proporções apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Peneiras e Proporções Utilizadas na Composição dos Agregados na Moldagem dos CPs.

Diâmetro (mm)	Peneira	% passa
15,9	5/8"	100,0
12,7	1/2"	91,2
9,5	3/8"	81,0
4,8	Nº 4	61,2
2,0	Nº 10	42,7
0,42	Nº 40	22,5
0,18	Nº 80	15,9
0,074	Nº 200	11,1

O fíler (material passado na peneira 200) foi composto com fíler basalto (5,6%) e calcário (5,5%). Foram realizadas doze combinações de energia e temperatura de compactação, conforme apresentado na Tabela 2. O CAP foi aquecido a $149 \pm 3^\circ\text{C}$, os agregados a $161 \pm 5^\circ\text{C}$ e a compactação, quando não variou a temperatura de compactação a $141 \pm 3^\circ\text{C}$.

Tabela 2. Descrição da Variação da Temperatura e Energia Utilizadas.

Estudo	Nº Golpes (Energia)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
Temperatura	30	106
	30	111
	30	126
	30	141
	30	156
	30	171
	10	141
Energia	20	141
	30	141
	40	141
	50	141
	75	141
	75	141

Avaliou-se os parâmetros volumétricos e resistência à tração (2 corpos-de-prova RT por combinação) e a permeabilidade (2 corpos-de-prova permeabilidade por combinação).

2.4 Resistência a Tração

Os corpos-de-prova (CPs) para os ensaios de resistência a tração por compressão diametral foram moldados em uma camada utilizando a metodologia empregada na dosagem Marshall descrita em Guimarães (2012). Foram utilizadas 1200 g de massa de concreto asfáltico, e os CPs ficaram com altura e diâmetro iguais respectivamente a 6 e 10 cm.

Após a compactação, os corpos-de-prova foram colocados à temperatura ambiente até o resfriamento e, em seguida, retirados dos moldes e determinados os parâmetros volumétricos. Os ensaios de resistência à tração foram realizados utilizando-se as recomendações da norma DNIT -ME 138 (1994).

Para realizar os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, os corpos-de-prova (dois por combinação) foram colocados em banho-maria a 25°C por um período de 2 h.

Após esse período, os mesmos foram colocados no molde de ensaio e levados à prensa, onde foram submetidos a uma carga progressiva com velocidade de deformação de $0,8 \pm 0,1$ mm/s até a ruptura.

A resistência à tração na compressão é calculada utilizando a carga de ruptura, de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma_r = \frac{2 \times f}{\pi \times D \times h} \quad (1)$$

onde: σ_r = resistência à tração; f = carga de ruptura; D = diâmetro do corpo-de-prova e h = altura do corpo-de-prova.

2.5 Ensaio de Permeabilidade

Os corpos-de-prova (CPs) para os ensaios de permeabilidade foram moldados em uma camada utilizando a metodologia empregada na dosagem Marshall descrita em Guimarães (2012) e as adaptações do equipamento propostas por Falcão (2003). Foram utilizadas 2000 g de massa de concreto asfáltico, e os CPs ficaram com altura e diâmetro iguais a 10 cm.

Não existe norma específica para realizar ensaio de permeabilidade em corpos-de-prova de concreto asfáltico para núcleos asfálticos. Höeg (1993) e Saxegaard (2009) utilizaram corpos-de-prova moldados com método Marshall e sob uma pressão de 10 bar (1000 kPa). Segundo Saxegaard (2009), a pressão de 10 bar é obtida com a aplicação de incrementos de 1 bar em 10 minutos (1 bar por minuto). A amostra é submetida a essa pressão (10 bar) por duas horas e a água que passa pelo corpo-de-prova é medida em uma proveta e o coeficiente de permeabilidade determinado com essa vazão.

A norma da ABNT que descreve a metodologia para determinar o coeficiente de permeabilidade de concreto endurecido, NBR 10786 (ABNT, 1989), recomenda aplicar pressão de 2000 kPa em incrementos de 400 kPa a cada 30 minutos. Após atingir essa pressão, o ensaio é realizado continuamente por aproximadamente 500 horas e o coeficiente de permeabilidade é calculado utilizando-se a tangente à curva no trecho de fluxo uniforme.

Os ensaios desta pesquisa foram realizados utilizando-se considerações das duas metodologias descritas anteriormente, conforme apresentado a seguir.

O equipamento utilizado para execução dos ensaios é normalmente empregado na realização de ensaios de concreto endurecido e está descrito na NBR 10786.

Os corpos-de-prova foram colocados sobre a base da campânula que apresenta um furo de aproximadamente 9 cm de diâmetro e uma saliência para fixação e manutenção do mesmo na posição vertical e o mais centralizado possível. Para a fixação do corpo-de-prova na base foi utilizado gesso. Após, foi colocada uma folha de cartolina no topo do mesmo e o espaço entre o corpo-de-prova e a parede da campânula foi preenchido com uma mistura selante aquecida (85% de asfalto oxidado e 15% de breu, a aproximadamente 230°C) até próximo ao topo. Após o resfriamento, retirou-se a folha de proteção (cartolina), colocou-se uma manta de algodão de aproximadamente 3 mm de espessura e uma camada de cascalho.

Os ensaios para os primeiros corpos-de-prova (10, 20, 30 e 40 golpes) foram realizados aplicando-se pressão de 500 kPa por um período de 24 h. Após 24 h, anotou-se o desnível inicial no indicador do reservatório (leitura inicial). O ensaio foi realizado continuamente por, no mínimo, 120 horas, realizando-se as leituras uma vez ao dia.

Após esse período, foi avaliada a vazão e, no caso de estabilização (vazão praticamente nula), aplicou-se pressão de 750 kPa e realizou-se o procedimento descrito anteriormente. Após esse carregamento, aplicou-se pressão de 1000 kPa e realizou-se o ensaio continuamente por, no mínimo, 120 h.

Em dois corpos-de-prova, observou-se a deformação do mesmo na base da campânula, portanto os ensaios desses foram cancelados. Em função dessas deformações nos demais CPs foi adotada a metodologia descrita anteriormente, no entanto, o primeiro carregamento de 250 kPa. Portanto, os ensaios foram realizados com pressões de 250 kPa (utilizada também no carregamento inicial de 24 h), 500 kPa, 750 kPa e 1000 kPa.

Os ensaios foram realizados à temperatura

ambiente, a qual variou entre 19,4°C e 24,8°C. A vazão utilizada no cálculo foi a vazão acumulada para cada pressão aplicada. O coeficiente de permeabilidade foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times H} \quad (2)$$

onde: k = coeficiente de permeabilidade, em cm/s; Q = vazão acumulada para cada pressão aplicada, em cm³/s; A = área da seção transversal do corpo-de-prova, em cm²; H = altura da coluna d'água correspondente à pressão aplicada, em cm.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à Tração

Os resultados dos parâmetros volumétricos médios obtidos para os corpos-de-prova utilizados para determinar a resistência à tração por compressão diametral são apresentados nas Tabelas 3 e 4. As Figuras 1 e 2 apresentam a variação do volume de vazios médio com a variação do número de golpes e temperatura de compactação.

Tabela 3. Influência da Energia de Compactação.

Nº de Golpes	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	RBV (%)
10	2,545	1,3	92
20	2,538	1,6	91
30	2,540	1,5	92
40	2,555	1,0	94
60	2,551	1,1	94
75	2,549	1,2	93

Tabela 4. Influência da Temperatura de Compactação.

Temperatura (°C)	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	RBV (%)
106	2,549	1,2	93
111	2,544	1,4	92
126	2,543	1,4	92
141	2,541	1,5	92
156	2,554	1,0	94
171	2,533	1,8	90

Legenda: Gmb = massa específica aparente; Vv = volume de vazios; RBV = relação betume vazios.

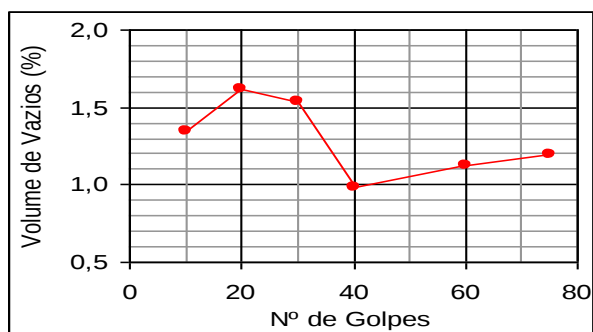


Figura 1. Volume de Vazios Vs Número de Golpes.

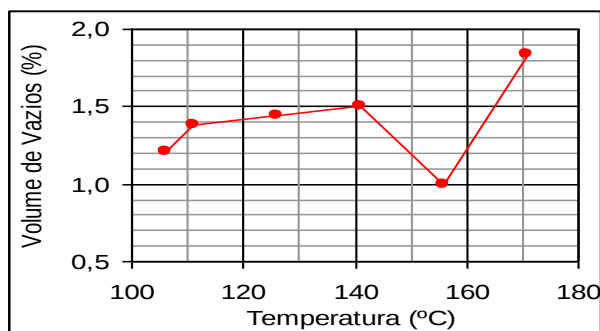


Figura 2. Volume de Vazios Vs Temperatura de Compactação.

As análises de agrupamento de médias homogêneas demonstraram que o valor médio da massa específica aparente e do volume de vazios obtido com a variação do número de golpes e da temperatura não apresenta tendência definida e não é possível distinguir diferença entre o grupo de valores obtidos (são estaticamente iguais).

A verificação da insignificância da influência da temperatura e energia de compactação na mistura analisada deve estar ligada aos altos valores de RBV obtidos. Verifica-se, nas Tabelas 3 e 4, que todas as amostras apresentaram RBV igual ou superior a 90%, indicando a quase saturação dos vazios no volume do agregado mineral (VAM).

Os resultados dessa pesquisa, quando comparados a pesquisa realizada por Albuquerque *et al.* (2004) foram diferentes provavelmente em função da quantidade de CAP. Nessa os vazios estão quase saturados por CAP, e naquela existem vazios significativos ocupados por ar, portanto, tem-se uma maior eficiência com o aumento da energia de compactação.

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral com a variação da energia

e temperatura de compactação respectivamente.

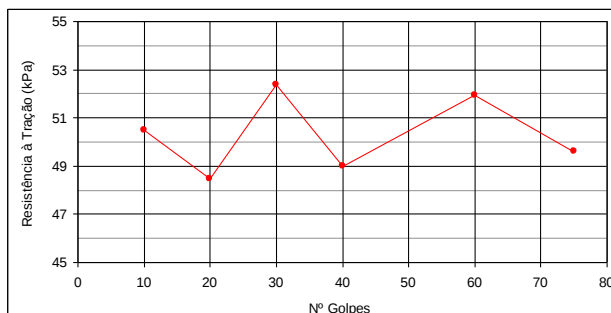


Figura 3. Resistência à Tração Vs Número de Golpes.

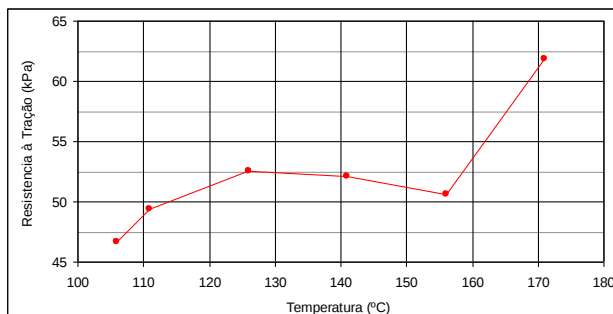


Figura 4. Resistência à Tração Vs Temperatura.

Verifica-se, nas Figuras 3 e 4, que não existe uma relação da resistência à tração com a variação da energia e da temperatura, corroborando os dados volumétricos obtidos nos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência à tração. Verifica-se uma maior dispersão para a variação da energia.

Foram realizadas análises estatísticas destes dados, sendo que, na análise de variância ($\alpha = 0,05$), verificou-se que as mesmas são estatisticamente insignificantes nos resultados de resistência à tração. As análises de agrupamento de médias homogêneas demonstraram que os resultados são estatisticamente iguais.

3.2 Ensaio de Permeabilidade

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados médios para parâmetros volumétricos e do coeficiente de permeabilidade para pressão de 1000 kPa. As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, a variação do coeficiente de permeabilidade com a energia e temperatura de compactação em função da pressão aplicada no ensaio.

Tabela 5. Influência da Energia de Compactação.

Nº de Golpes	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	RBV (%)	k (m/s)
10	2,544	1,4	92	$5,9 \times 10^{-12}$
20	2,543	1,4	92	Rompeu
30	2,561	0,8	96	Insignificante
40	2,551	1,1	94	$1,5 \times 10^{-12}$
60	2,544	1,4	92	$1,2 \times 10^{-12}$
75	2,542	1,5	92	$2,9 \times 10^{-12}$

Tabela 6. Influência da Temperatura de Compactação.

Temperatura (°C)	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	RBV (%)	k (m/s)
106	2,539	1,6	91	$3,7 \times 10^{-12}$
111	2,537	1,7	91	Insignificante
126	2,537	1,7	91	$4,1 \times 10^{-12}$
141	2,564	0,6	96	$7,7 \times 10^{-13}$
156	2,543	1,4	92	$1,7 \times 10^{-12}$
171	2,543	1,4	92	$2,9 \times 10^{-12}$

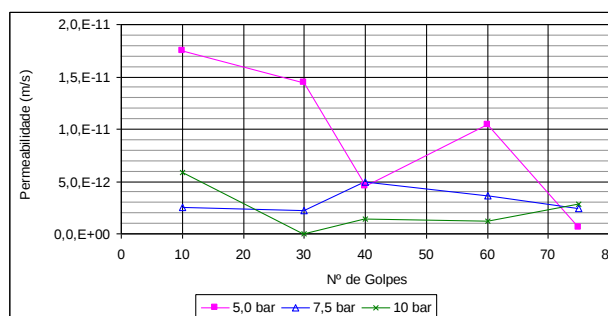


Figura 6. Coeficiente de Permeabilidade vs Nº de Golpes.

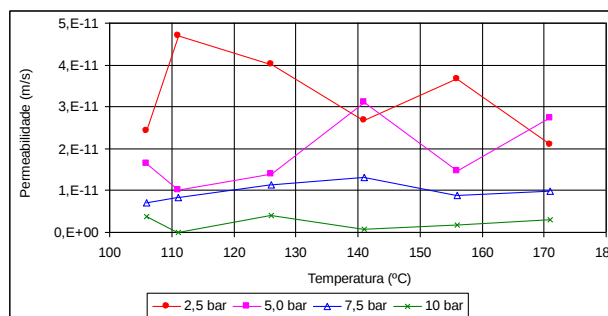


Figura 7. Coeficiente de Permeabilidade vs Temperatura de Compactação.

Os parâmetros volumétricos foram semelhantes para todos os corpos-de-prova, com exceção dos corpos-de-prova de 30 golpes na variação da energia e 141°C na variação da temperatura. As análises de agrupamento de médias homogêneas demonstraram que somente esses corpos-de-prova não são estatisticamente iguais. Os demais corpos-de-prova, independentemente da variação da energia ou temperatura de compactação, são estatisticamente iguais e apresentam variação inferior a $0,02 \text{ g/cm}^3$ para a massa específica

aparente e 0,3% para o volume de vazios.

Quanto ao coeficiente de permeabilidade, verifica-se que a energia e temperatura de compactação não influenciam nos resultados. As análises de agrupamento de médias homogêneas demonstraram que os coeficientes de permeabilidade obtidos são estatisticamente iguais, independentemente da variação da energia ou temperatura de compactação.

Verifica-se, nas Figuras 5 e 6, que o aumento da pressão aplicada tende a diminuir o coeficiente de permeabilidade. Uma causa para essa queda pode ser a diminuição do volume de vazios em função do aumento da pressão. Após a finalização do ensaio de permeabilidade, não foi possível determinar o volume de vazios, pois, na desmontagem dos corpos-de-prova, tem-se o aquecimento da câmara e consequentemente deformação dos mesmos.

O coeficiente de permeabilidade, independentemente da variação da energia, da temperatura de compactação e da pressão aplicada ficou na faixa de 10^{-12} a 10^{-13} m/s e o volume de vazios variou de 0,6 a 1,7%. Höeg (1993) avaliou a variação do coeficiente de permeabilidade com o volume de vazios e obteve valores inferiores para volume de vazios semelhantes. Falcão (2007) realizou ensaios de permeabilidade com três agregados (micaxisto, calcário e granito) e obteve coeficientes de permeabilidade desta ordem de grandeza para volume de vazios semelhantes. Gsaenger (1973) realizou testes de estanqueidade com níveis de pressão de 80 a 160 kPa em um concreto asfáltico com volume de vazios de 1,2% e não registrou percolação de água.

A Figura 8 apresenta uma comparação dos resultados obtidos na pesquisa para a pressão de 10 bar (1000 kPa), uma curva de ajuste apresentada por Höeg (1993) e uma realizada por Falcão (2007), utilizando os dados obtidos por ele e Höeg (1993).

Verifica-se, na Figura 8, que os coeficientes de permeabilidade obtidos na pesquisa ficaram abaixo da curva ajustada por Höeg (1993), ou seja, indicam coeficientes de permeabilidade superiores, no entanto se aproximam da curva de ajuste proposta por Falcão (2007). A curva ajustada por Falcão (2007) indica valores superiores ao limite máximo recomendado por

Visser *et al.* (1970), ou seja 10^{-9} m/s, quando o volume de vazios é superior a 4,0%. Para esse volume de vazios, as duas curvas de ajuste apresentam coeficientes de permeabilidade semelhantes.

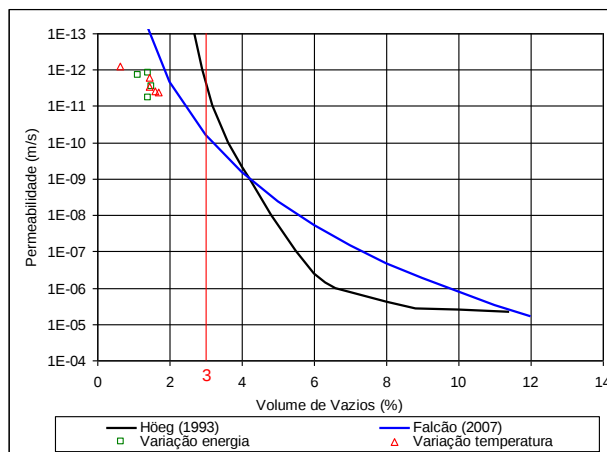


Figura 8. Comparação dos Resultados de Coeficiente de Permeabilidade Obtidos na Pesquisa e Curvas de Ajuste Apresentadas por Höeg (1993) e Falcão (2007).

Apesar de as curvas ajustadas por Höeg (1993) e Falcão (2007) indicarem que concretos asfálticos com volume de vazios inferiores a 4% atendem ao limite máximo recomendado por Visser *et al.* (1970), deve-se levar em conta os seguintes aspectos nos ensaios de permeabilidade:

- variação dos resultados: o coeficiente de variação dos resultados obtidos no ensaio pode ser superior a 70%;
- anisotropia obtida durante a compactação: os ensaios normalmente são realizados na direção perpendicular à compactação, ou seja, na direção em que se obtêm os menores coeficientes de permeabilidade. Quanto maior a lamellaridade do agregado, maior será essa influência;
- metodologia adotada: ainda não se tem uma metodologia padronizada para concretos asfálticos aplicados em barragens. Os resultados podem apresentar grande variação dependendo do equipamento, da pressão aplicada e do tempo de ensaio utilizado.

Em função dessas considerações, é prudente trabalhar com o volume de vazios recomendado pela bibliografia, ou seja, menor que 3,0%. Utilizando-se concretos asfálticos com volume

de vazios inferior a 3,0% e a curva ajustada por Falcão (2007), verifica-se que o coeficiente de permeabilidade será inferior a 10^{-10} m/s.

4 CONCLUSÕES

Na mistura avaliada nesta pesquisa, verificou-se que a variação da energia de compactação e da temperatura de moldagem não influenciou de maneira estatisticamente significativa nos valores dos parâmetros volumétricos e na resistência à tração. Esse fato deve estar ligado à quase saturação pelo CAP dos vazios do agregado mineral.

Verificou-se também a baixa relação do coeficiente de permeabilidade com essas variações. A variação da temperatura de compactação e do número de golpes na são estatisticamente significantes nos resultados de coeficiente de permeabilidade do concreto asfáltico analisado. O coeficiente de permeabilidade ficou na faixa de 10^{-12} a 10^{-13} m/s independente da energia de compactação e da temperatura de moldagem.

Essa baixa relação deve estar ligada aos altos valores de RBV (> 90%) das misturas avaliadas, pois em todas as combinações o volume de vazios foi inferior a 2,0%. O soquete tem mesma área do corpo-de-prova, portanto a pressão é transferida para o ligante (CAP), o qual apresenta-se em estado de um fluido newtoniano para as temperaturas utilizadas durante a compactação. Consequentemente esta pressão não é efetivamente transferida para o esqueleto sólido dos agregados e não proporciona a diminuição do volume de vazios da mistura.

AGRADECIMENTOS

À Furnas e ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, pelo apoio dado a este trabalho.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, A.P.F., Pinto, S., Vieira, A., Ventorini, L.A. & Lopes, L.A.S. (2004). *Influência da energia de compactação e da temperatura de moldagem nas propriedades mecânicas de corpos-de-prova de*

concreto asfáltico. 35ª Reunião Anual de Pavimentação. ABPv: Rio de Janeiro, RJ. CD Room. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1989). NBR 10786: Concreto Endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Rio de Janeiro, 4 p.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomustível (2005). *Resolução ANP Nº 19*, 6 p. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. (1994). *DNIT-ME 138: Misturas Betuminosas - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral*. Rio de Janeiro, RJ, 4 p.

Falcão, P.R.F. (2003). *Aplicação de Misturas Betuminosas em Barragens de Terra e Enrocamento*. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 106 p.

Falcão, P.R.F. (2007). *Estudo das Propriedades Mecânica e Hidráulicas de Concreto Asfáltico para Aplicação em Barragens*. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 167 p.

Gsaenger, A. (1973). *The asphalt sealing membrane of the dam of Lech power plant prem*. XI Congresso Internacional de Grandes Barragens, Madrid, Espanha, Q42 R16. pp. 265-280.

Guimarães, R.C. (2012). *Barragens com Núcleo de Concreto Asfáltico – Análise do Comportamento Mecânico e Hidráulico*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 076/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 189 p.

Guimarães, R.C., Camapum de Carvalho, J. & Farias, M.M. (2014). *Influência do tipo de cimento asfáltico de petróleo nas propriedades mecânicas de misturas betuminosas empregadas em núcleos de barragens*. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia - GO, CD Room.

Höeg, K. (1993). *Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams: Experience and Practice*. Noruega: Stikka Press, Norway. 88 p. ISBN 82-546-0163-1.

International Commission on Large Dams – ICOLD. (1992). *Bituminous cores for fill dams: State of the art*. Bulletin 84. Paris: ICOLD. 91 p.

Saxegaard, H. (2009). *Mix design documentation for the “Foz do Chapecó asphalt core dam”*. Noruega: Kolo Veidekke, 14 p.

Visser, W; Schoenian, E. & Poskitt, F.F. (1970). *The application of bitumen for earth and rockfill dams*. X Congresso Internacional de Grandes Barragens, Montreal, Canadá, Q36 R38. pp. 631-659.

Wang, W. & Höeg, K. (2002). *Effects of compactation method on the properties of asphalt concrete for hydraulic structures*. International Journal on Hydropower and Dams. 9 (6): 63-71.