

PLANO DE TRABALHO

**Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT
Capítulo XX do Edital 02, Lote 05, item 10 do PER
Rodovia BR 381 – Trecho Belo Horizonte - São Paulo**

PROJETO 03 - SGP/AFD_03 REV.05

AVALIAÇÃO DE MISTURAS A FRIO COMO SOLUÇÃO PARA CAMADAS DE REVESTIMENTO



Autopista Fernão Dias
Grupo OHL

RELATÓRIO FINAL
FEVEREIRO 2011



Ministério dos Transportes

Agência Nacional de Transportes Terrestres

SUMÁRIO

1	CONCESSIONÁRIA.....	3
2	DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
3	JUSTIFICATIVA	3
3.1	DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS	4
3.2	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	4
3.3	ETAPAS.....	4
4	ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA	4
5	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	5
5.1	PRIMEIRA FASE (RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO I – OUTUBRO/2010).....	5
5.2	SEGUNDA FASE (RELATÓRIO FINAL – FEVEREIRO/2011).....	5
6	APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO PARCIAL II	5
6.1	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE AVALIAÇÃO DAS MISTURAS	5
6.1.1	AGREGADOS.....	6
6.1.2	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	7
6.1.3	EMULSÃO ASFÁLTICA MODIFICADA POR POLÍMERO	8
6.2	DOSAGEM MARSHALL DOS TIPOS DE MISTURA SELECIONADOS	10
6.3	ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO	12
6.3.1	MÓDULO DE RESILIÊNCIA.....	13
6.3.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	15
6.3.3	DEFORMAÇÃO PERMANENTE	18
7	CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	19
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
9	ANEXO.....	23

1 CONCESSIONÁRIA

AUTOPISTA FERNÃO DIAS

2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

AVALIAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A FRIO COMO SOLUÇÃO PARA CAMADAS DE REVESTIMENTO, REFORÇOS E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS.

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem por objetivo principal avaliar a resistência, deformação e durabilidade de misturas asfálticas usinadas a frio com emulsão modificada por polímero para serviços de execução de revestimentos asfálticos, reforços e manutenção de pavimentos. A mistura a frio apresenta diversas vantagens dentre elas se destaca a redução no consumo de energia e diminuição nas emissões de poluentes; a usinagem e a aplicação também são beneficiadas pelo uso de ligantes em temperatura ambiente, além de facilitação da execução em condições adversas tais como locais distantes da usina ou trabalhos noturnos, nos quais o uso de misturas a quente é desaconselhado devido à perda de temperatura das mesmas, característica que influencia todo o desempenho da mistura entre a compactação e o período de vida útil. O uso de emulsão modificada por polímero aumenta a durabilidade e melhora sobremaneira o desempenho destas misturas a frio, propiciando resistência e durabilidade necessárias para rodovias com elevados níveis de solicitação de tráfego.

A pesquisa verificou e comparou o comportamento de diferentes tipos de misturas asfálticas usinadas a frio em relação à deformação permanente, características de compactação e impermeabilização da superfície para aplicação da mistura como camadas de revestimento a frio.

3 JUSTIFICATIVA

A aplicação de novas técnicas de pavimentação tem sido crescentemente impulsionada pelos desafios ambientais que exigem técnicas mais duráveis associadas a menores impactos ao meio ambiente. A indústria da pavimentação responde historicamente por técnicas pouco sustentáveis do ponto de vista ambiental. Neste contexto, misturas alternativas estão atualmente sendo pesquisadas e difundidas. A implantação de novas técnicas, no entanto, devem ser avaliadas criteriosamente para garantir desempenho aceitável que justifique sua implementação.

As misturas asfálticas produzidas a frio representam uma solução ambientalmente sustentável, contudo devem ser avaliados tecnicamente os processos de produção, aplicabilidade e durabilidade destas misturas para se comprovar a viabilidade de seu emprego. O passivo ambiental inerente às técnicas mal sucedidas é regularmente precedido por pesquisas deficientes, que em geral não apresentam correlação entre estudos laboratoriais e aplicação em pistas experimentais. Além disso, há estudos laboratoriais sem análises aprofundadas de comportamento mecânico, relacionados a diferentes níveis de exigências do tráfego, resultando em interpretações equivocadas de dados.

A avaliação dos parâmetros de desempenho associados à mistura a frio deve ser ponderada em relação às características de aplicação, de tal forma que a vida de serviço dos pavimentos que receberem as misturas seja adequada às condições de aplicação, representando boas relações de custos e benefícios.

3.1 DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS

Esta pesquisa apresenta uma fase desenvolvida em laboratório, com estudos complementares no CDT - Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Grupo OHL e no Laboratório de Pavimentação da Escola Politécnica da USP, nos quais foram realizadas diferentes dosagens de misturas, ensaios de deformação permanente e ensaio de módulo de resiliência das diferentes misturas escolhidas.

3.2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os ensaios usados estão definidos em especificações da AASHTO, DNIT e da ISSA. Os ensaios para definição dos projetos de mistura asfáltica a frio foram realizados no CDT da Paulista Infraestrutura e os ensaios de módulo de resiliência, resistência à tração e deformação permanente foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP.

3.3 ETAPAS

Esta pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas elencadas a seguir:

1. Definição dos diferentes tipos de misturas e ligante – Seleção dos diferentes tipos de mistura asfáltica em função de resultados de diferentes tipos de projetos.
2. Realização dos ensaios de projeto da mistura, módulo de resiliência, resistência à tração e deformação permanente - Inicialmente serão realizados os projetos de misturas com os agregados e ligantes selecionados. Após a definição dos teores ótimos de cada mistura adotada, foram realizados os ensaios de módulo de resiliência, resistência à tração e deformação permanente no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP.
3. Análise dos resultados encontrados - Foram analisados os resultados obtidos no laboratório e foram estabelecidas as relações entre ensaios. Estes estudos foram realizados para uma definição de parâmetros que possam ser utilizados nos projetos futuros de mistura.

4 ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

• IDENTIFICAÇÃO DAS EMPRESAS PARTICIPANTES

A empresa coordenadora é a PAULISTA INFRA-ESTRUTURA LTDA associada com o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transporte da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com as empresas Dynatest e JMCHAVES Consultoria Ltda.

• IDENTIFICAÇÃO DOS PARTICIPANTES

- Coordenador Geral: José Mário Chaves – JMChaves
- Coordenador Técnico: Douglas Pulcaro Negrão
- Assessoramento Técnico:
 - o Liedi Légi Bariani Bernucci – USP
- Coordenador Laboratório da Paulista Infra-estrutura: Vagner Alba - CDT.

- Coordenador Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP: Amanda Helena Marcandali da Silva.

5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

5.1 PRIMEIRA FASE (relatório de acompanhamento I – Outubro/2010)

Nesta fase foram realizados os estudos para formulação das misturas a frio, a definição dos diferentes tipo de misturas e ligantes, pelos seguintes processos:

- Determinação de faixa granulométrica e definição do método de dosagem;
- Avaliação dos parâmetros volumétricos e fixação do teor ótimo para a mistura frio convencional;
- Estudos para realização de ensaios de comportamento mecânico;
- Composição de faixas granulométricas para comparação de diferentes misturas a frio.

5.2 SEGUNDA FASE (relatório final – Fevereiro/2011)

Nesta etapa da pesquisa, foram dosadas as diferentes misturas definidas para comparação, bem como procedidas as análises finais:

- Dosagem Marshall de dezesseis misturas diferentes utilizadas para comparação de comportamento;
- Determinação de propriedades de avaliação das misturas a frio;
- Ensaios de comportamento mecânico para caracterização de cada mistura;
- Análise de resultados e hierarquização das misturas contempladas na análise.

6 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO PARCIAL II

A Paulista Infra-estrutura Ltda apresenta neste relatório as características de cada mistura avaliada, bem como os parâmetros de influência no comportamento das misturas a frio, identificados durante a pesquisa. Os resultados finais desta pesquisa são apresentados neste relatório.

6.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE AVALIAÇÃO DAS MISTURAS

A avaliação das características das misturas a frio contemplou variações que permitissem identificar a influência de diferentes parâmetros no comportamento destas. A seleção das misturas de interesse se baseou nas seguintes variáveis:

- Agregados: Basalto e Granito
- Emulsão Modificada por Polímero: SBR e SBS
- Distribuição Granulométrica: Aberta, Gap, Denso e Semi Denso.

Estas variações serão descritas nos itens a seguir.

6.1.1 AGREGADOS

A variação no tipo de agregado permite verificar a variabilidade no teor ótimo de projeto e ainda, o desempenho como função das características do agregado. Os agregados representam a maior parcela de material numa mistura asfáltica, sendo fundamental conhecer as características dos materiais que estão sendo utilizados, além disso, os agregados podem variar significativamente nas diversas regiões do país, obrigando a utilização de materiais locais, sem prejuízos na qualidade das misturas. O objetivo desta pesquisa ao comparar dois tipos de agregados diferentes, é quantificar as variações atribuídas ao tipo de agregado.

A definição pelos agregados utilizados na pesquisa se baseou principalmente nas características de localização das pedreiras e do índice de forma dos agregados. Foram testados dois tipos de agregados naturais, sendo um de forma predominante cúbica (basalto) e o outro de forma predominante lamelar (granito). A variação no índice de forma em agregados graúdos, afeta tanto o teor ótimo, quanto a distribuição dos agregados na mistura. Agregados muito lamelares podem aumentar muito a rigidez das misturas, e se quebrar durante a compactação, resultando em faces expostas, sem recobrimento de ligante. Os ensaios realizados nesta pesquisa objetivaram comparar a influência desta combinação de fatores (teor de ligante + forma do agregado) no comportamento das misturas usinadas a frio. A verificação da forma do agregado foi realizada de acordo com a norma DNER-ME-086/94.

Os agregados graúdos foram avaliados quanto a abrasão, por meio do ensaio normatizado DNER-ME-035/98. O ensaio realizado com auxílio do Tambor de Abrasão Los Angeles estima o desgaste do agregado durante as etapas de usinagem, construção e vida de serviço. Para análise dos agregados miúdos foi realizado em ensaio de equivalente de areia, em acordo com a norma DNER-ME-054/97, que identifica a quantidade de finos plásticos no agregado miúdo.

A composição (fração) para cada mistura e os resultados dos ensaios sobre agregados encontram-se na Tabela 1, para os dois tipos de agregado avaliados: basalto e granito.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados utilizados na pesquisa

Agregado/ Pedreira	Fração	Forma/ Angulosidade	Abrasão “Los Angeles”	Equivalente de areia	Valores Limites
Granito (DS2)	Brita 1	Lamelar	15,50%	-	40,0%
	Pedrisco	Cúbico	16,50%	-	40,0%
	Pó-de-pedra	Cúbico	-	61,50%	65,0%
Basalto (Santa Isabel)	Brita 1	Cúbico	10,40%	-	40,0%
	Pedrisco	Cúbico	10,40%	-	40,0%
	Pó-de-pedra	Cúbico	-	67,40%	65,0%
	Areia Artificial	Cúbico	-	70,50%	65,0%

O basalto tem forma predominantemente cúbica, favorecendo o inter-travamento entre os agregados, gerando esqueleto pétreo mais resistente, contudo exigiu fração adicional de finos para compor as faixas granulométricas. O granito por sua vez, apresentou forma predominantemente lamelar, mas composição granulométrica mais eficiente. Não foram verificadas características de absorção para os agregados. Estas características serão confrontadas com os resultados de comportamento mecânico no item 6.3.

6.1.2 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A distribuição granulométrica de uma mistura asfáltica tem influência direta sobre aspectos cruciais de desempenho tais como, estabilidade, permeabilidade e durabilidade (Cunha, 2004). Foram adotadas quatro distribuições granulométricas diferentes representadas graficamente na Figura 1, para comparação do desempenho entre estas misturas.

A distribuição densa proporciona maior resistência à mistura por meio da maior densidade, combinando de modo contínuo as proporções entre cada fração, incluindo a fração fina; a máxima densificação não pode ser usada, pois a produção da mistura asfáltica deve contar com vazios para adição de ligante asfáltico, e vazios de projeto, que permitam a acomodação da estrutura face aos esforços do tráfego. A distribuição aberta, conforme se observa na figura, possui menor densidade e maior volume de vazios. A distribuição semi-densa, encontra-se entre as faixas granulométricas densa e aberta, com densificação intermediária, tendo portanto menor resistência associada, mas maior volume de vazios. A distribuição em degrau, no entanto, aumenta a resistência das misturas por meio do contato direto entre grãos graúdos, mantendo volume de vazios mais elevado, tendo portanto menor influência do teor de ligante adicionado (fator de sensibilidade para misturas densas).

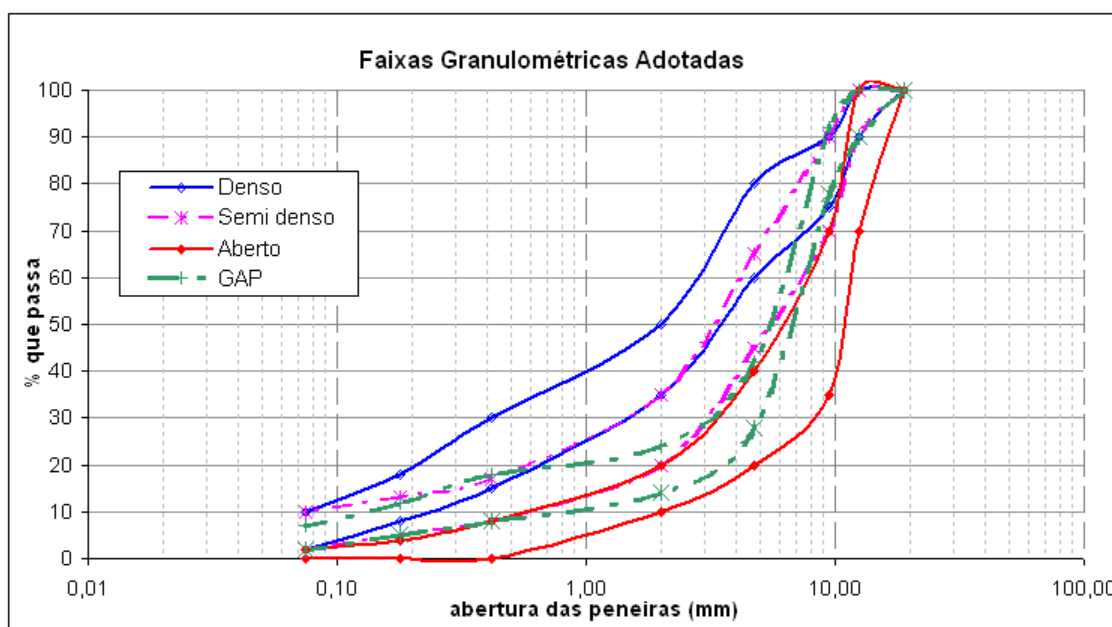


Figura 1 – Distribuição granulométrica das misturas avaliadas na pesquisa para comparação

6.1.3 EMULSÃO ASFÁLTICA MODIFICADA POR POLÍMERO

Emulsão asfáltica é uma dispersão estável de dois líquidos imiscíveis, produzida a partir de quatro componentes essenciais: cimento asfáltico de petróleo, água (líquidos imiscíveis), agente emulsificante e energia mecânica de mistura, gerando um produto estabilizado quimicamente. Dentre algumas vantagens na utilização de emulsões asfálticas encontram-se o manuseio e aplicação em temperatura ambiente, fácil armazenamento e distribuição, redução no risco de oxidação por superaquecimento do ligante, diluição em água, ampliação do tempo de aplicação do material em campo, versatilidade de aplicações, além dos benefícios ambientais.

Os agentes emulsificantes são formações químicas com capacidade de reduzir a tensão superficial e permitir que os glóbulos de água e asfalto permaneçam em suspensão por um tempo; o agente emulsificante exerce grande influência nas características das emulsões, sendo responsáveis por facilitar a dispersão e manter estabilidade, impedindo a aglomeração dos glóbulos de asfalto (James, 2006). As emulsões podem ser dos tipos direta ou indireta, porém essa formação não influencia no seu desempenho.

Os agentes emulsificantes fornecem a carga à emulsão, determinando sua classificação, que pode ser catiônica, indicada pela letra C (carga positiva), aniônica (carga negativa) e não-iônica (pouco utilizada). Emulsões catiônicas são largamente utilizadas, representando 90% do uso de emulsões em todo o mundo. No Brasil, as emulsões catiônicas são predominantemente produzidas e comercializadas (ABEDA, 2001), pois apresenta maior compatibilidade com agregados de origens geológicas diversas, ao passo que as emulsões aniônicas têm algumas restrições. As emulsões são ainda categorizadas em função do tempo de ruptura, processo onde ocorre desestabilização nas reações químicas e nos processos físicos envolvidos, no qual a emulsão sofre ionização pelo agregado mineral gerando o fenômeno de separação das fases. Neste período ocorre a formação do filme asfáltico contínuo sobre os agregados. A ruptura pode ser tipo Rápida (RR), Média (RM) e Lenta (RL), (ainda que essa ruptura possa variar em função das condições climáticas) e está relacionada a superfície específica dos agregados, de forma que emulsão RR tem pouca função no uso com agregados e de ruptura média são utilizadas com agregados graúdos.

A cura é o processo de perda de água, quando o betume residual da emulsão e aditivos alcançam suas propriedades. De acordo com Salomon (2008), os principais fatores que interferem nos processos de ruptura e cura das emulsões são: superfície específica, carga elétrica e características químicas do agregado, química dos aditivos (cimento e cal), temperatura, umidade relativa, características do agente emulsificante, viscosidade do asfalto, ou ainda fatores de aplicação como compactação e técnica executada. O processo pode levar meses para ser finalizado Bernucci et al. (2007).

As emulsões podem ser combinadas com aditivos para diferentes finalidades. Polímeros são cadeias de moléculas unidas por ligações covalentes. Os polímeros inseridos nas emulsões podem ser elastômeros ou plastômeros, e modificam a estrutura e viscoelasticidade do asfalto. A incorporação de polímeros elastômeros é atualmente normatizada pela ANP através da Resolução RANP nº 05 de 2009, e indicado com a letra E na classificação das emulsões. Os polímeros devem ser dispersos nas emulsões em proporções adequadas, uma vez que o aumento excessivo da quantidade não traz necessariamente benefícios, podendo ainda exigir maior energia de agitação (Leite, 1999).

As características dos polímeros atuam sobre o resíduo das emulsões. Quando se inicia o processo de ruptura, ocorre o fenômeno da coalescência, no qual os glóbulos de asfalto se unem formando uma película ou filme que recobre o agregado (Zegarra, 2007). Os polímeros adicionam características às

misturas recicladas como alta coesão inicial (maior capacidade estrutural) e maior resistência a deterioração por fadiga.

O polímero SBR (borracha de estireno-butadieno) se forma numa cadeia alveolar quando a água deixa a mistura no processo de coalescência e cura da emulsão. A estrutura formada pelo SBR atribui maior resistência ao ligante, resistindo melhor às tensões repetidas (Leite, 1999). As características da emulsão utilizada nesta pesquisa são apresentadas na Tabela 2, indicando que os valores estão situados dentro dos limites estabelecidos pela RANP (2009).

Tabela 2 – Características da emulsão modificada por polímero SBR

Emulsão Poliflex - Polímero SBR		
Porcentagem de Resíduo Asfáltico na Emulsão	62,60%	> 62,00%
Ensaio sobre emulsão		
Viscosidade Saybolt-Furol a 25°C	22 s	15 - 90
Peneiração (Retido # Nº 20)	0,02%	< 0,3%
Ensaio sobre CAP modificado Residual		
Penetração (100g, 5 s, 25°C)	42 (0,1mm)	35 - 90
Recuperação Elástica por Torção	52,00%	> 45,00%
Ponto de amolecimento	62°C	> 60°C

O polímero elastômero termoplástico SBS, sigla para estireno-butadieno-estireno, onde o estireno (termoplástico) é responsável por fornecer maior resistência ao polímero, e o butadieno (termoelástico) confere elasticidade. O SBS modifica o comportamento reológico do asfalto; a viscoelasticidade apresenta menor variação sob efeito da temperatura (Machado, 2007). As características da emulsão modificada por polímero SBS utilizada nesta pesquisa são apresentadas na Tabela 3, indicando também que os valores estão situados dentro dos limites estabelecidos pela RANP (2009).

Tabela 3 – Características da emulsão modificada por polímero SBS

Emulsão Poliflex - Polímero SBS		
Porcentagem de Resíduo Asfáltico na Emulsão	63,60%	> 62,00%
Ensaio sobre emulsão		
Viscosidade Saybolt-Furol a 25°C	22 s	15 - 90
Peneiração (Retido # Nº 20)	0,10%	< 0,3%
Ensaio sobre CAP modificado Residual		
Penetração (100g, 5 s, 25°C)	52 (0,1mm)	35 - 90
Recuperação Elástica por Torção	49,00%	> 45,00%
Ponto de amolecimento	48°C	> 60°C

Observa-se um consenso de que o desempenho de pavimentos que utilizam asfalto modificado por polímero é superior àqueles que utilizam asfalto convencional, contudo alguns estudos de campo mostram que esse desempenho não é uniforme e depende de variáveis como tráfego, materiais, clima, dentre outros e precisam ser bem avaliados (Quintus *et al.*, 2001). Esta pesquisa objetiva avaliar a variabilidade de

desempenho das emulsões em função da curva granulométrica adotada e do tempo de cura das misturas a frio.

6.2 DOSAGEM MARSHALL DOS TIPOS DE MISTURA SELECIONADOS

O objetivo desta pesquisa é comparar o comportamento de diferentes misturas a frio com emulsão asfáltica, com vistas a sua durabilidade e resistência, para aplicação como camada de revestimento. Os resultados obtidos em laboratório serão utilizados como referência em futuras aplicações em campo, servindo como dados de controle de desempenho, por meio de ensaios em corpos-de-prova Marshall, que podem ser reproduzidos em amostras extraídas de pavimentos com as misturas avaliadas. Para atingir estes objetivos, foram realizados ensaios sobre amostras moldadas em laboratório.

O processo de dosagem das misturas a frio, se baseou na norma do DNER ME 107/94 de Mistura Betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – Ensaio Marshall. O procedimento define parâmetros para a confecção de corpos-de-prova que foram submetidos a ensaios de comportamento mecânico, que serão descritos no item 6.3. Não existe no Brasil normatização para a confecção de corpos-de-prova em prensa de compactação por cisalhamento giratório, não sendo interessante, portanto estabelecer estudos de comportamento de diferentes misturas a frio por meio de corpos-de-prova moldados por este equipamento.

Conforme mencionado, a comparação entre misturas com variáveis entre faixa granulométrica, tipo de agregado e tipo de emulsão asfáltica, permite a identificação dos fatores de maior influência no comportamento das misturas a frio. A Tabela 4 mostra a combinação de variáveis de cada mistura e as nomenclaturas adotadas para as 16 misturas avaliadas.

Tabela 4 – Nomenclatura das misturas estudadas

Agregado Tipo	Emulsão Polímero	Faixa Granulométrica	Nomenclatura Adotada
Basalto	SBR	Aberta	A1
		Gap	A2
		Denso	A3
		Semi-Denso	A4
	SBS	Aberta	B1
		Gap	B2
		Denso	B3
		Semi-Denso	B4
Granito	SBR	Aberta	C1
		Gap	C2
		Denso	C3
		Semi-Denso	C4
	SBS	Aberta	D1
		Gap	D2
		Denso	D3
		Semi-Denso	D4

As características das misturas selecionadas, bem como os dados da Dosagem Marshall para cada mistura, são apresentadas em anexo. Conforme mencionado, a matriz de variáveis apresentada na tabela 4, objetiva comparar quatro faixas granulométricas diferentes, com dois tipos de agregado e dois tipos de polímero modificador utilizado nas emulsões. A comparação deve identificar quais são os fatores de maior influência no comportamento das misturas, permitindo selecionar graduação, agregado e emulsão adequados. Os resultados dos ensaios mecânicos realizados com cada mistura são avaliados apropriadamente no item 6.3.

As misturas apresentaram como esperado, variabilidade no teor ótimo de emulsão adicionada e consequentemente no teor de CAP residual. A Tabela 5 apresenta a variação no teor ótimo de cada mistura.

Tabela 5 – Variação no teor ótimo de emulsão e CAP residual de cada mistura

Agregado Tipo	Faixa Granulométrica	Teor ótimo CAP residual (%)	Teor ótimo Emulsão (%)	Nomenclatura	Teor ótimo CAP residual (%)	Teor ótimo Emulsão (%)	Nomenclatura
		Emulsão SBR			Emulsão SBS		
Basalto	Aberta	4,5	7,3	A1	4,5	7,3	B1
	GAP	5,0	8,1	A2	5,0	8,1	B2
	Densa	4,3	7,0	A3	4,5	7,3	B3
	Semi Densa	4,8	7,7	A4	4,8	7,7	B4
Granito	Aberta	3,7	5,9	C1	3,7	5,9	D1
	GAP	5,0	8,1	C2	5,0	8,1	D2
	Densa	4,5	7,3	C3	5,5	8,9	D3
	Semi Densa	4,5	7,2	C4	4,1	6,7	D4

A Figura 2 apresenta a comparação direta entre cada mistura que permite verificar a influência do tipo de agregado e do tipo de emulsão em cada mistura, e ainda permite elencar o consumo de emulsão por faixa granulométrica.

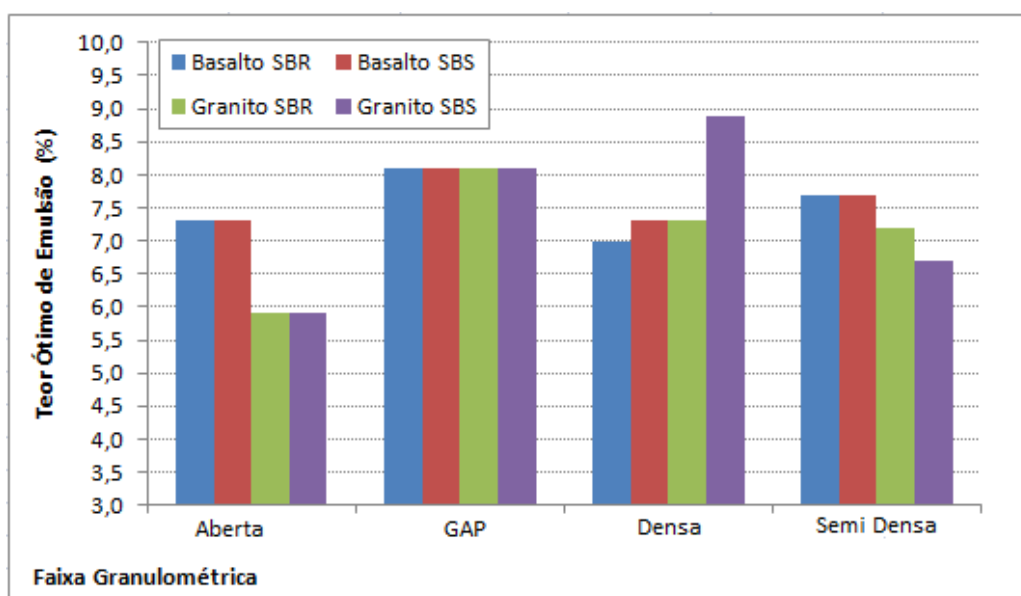


Figura 2 – Teor ótimo de emulsão de cada mistura em função da variação no tipo de agregado e de polímero

A variabilidade identificada está diretamente relacionada à distribuição granulométrica de cada faixa. A porcentagem de fração fina em cada faixa, quando em maiores proporções, exige maior teor de emulsão, devido à maior superfície específica desta fração. Considerando-se que o teor ótimo obtido para cada mistura foi utilizado como parâmetro fundamental para a produção das misturas avaliadas por meio de ensaios de comportamento mecânico, estas informações são ponderadas somente quando se atribui algum resultado de ensaio mecânico ao teor de emulsão. Teores mais elevados de ligante asfáltico nas misturas propiciam aumento da espessura de filme asfáltico, que pode contribuir para a resistência à fadiga, contudo, teores muito elevados podem também diminuir a resistência à deformação permanente (Bernucci, 2007), por esta razão os teores são associados a outros resultados de ensaios mecânicos. A determinação do teor ótimo teve como finalidade definir quais as características das misturas avaliadas por meio de ensaios de comportamento mecânico.

Em função das características de cura das emulsões asfálticas, a pesquisa também procurou avaliar o comportamento das misturas em relação ao período de cura por meio de ensaios de comportamento mecânico. As misturas foram moldadas em laboratório em acordo com a especificação do DNER, com período de cura de 24 horas a temperatura de 60°C em estufa. Após este período regulamentado as amostras foram ensaiadas somando-se o período de dias apresentado na Tabela 6, estando os corpos-de-prova em ambiente condicionado à temperatura constante de 25°C.

Tabela 6 – Períodos de cura definidos para cada ensaio

Ensaio	Tempo de Cura	Misturas	
Módulo de Resiliência/ Resistência à tração	24 hs	A1 A2 A3 A4	B1 B2 B3 B4
	7 dias		
	14 dias		
	28 dias		
Deformação Permanente	7 dias		
	28 dias		

O objetivo dos ensaios com períodos de cura mais extensos foi identificar o ganho nas características de resistência das misturas, de modo que se possa mensurar a importância da cura no desempenho em pista. Os resultados utilizados para controle são baseados em misturas com cura em estufa a 60°C por 24 horas, o que pode conduzir a valores consideravelmente baixos em relação ao desempenho esperado após a cura completa. Resultados de controle muito baixos podem facilmente ser alcançados mesmo por misturas de baixa qualidade, que em consequência podem apresentar defeitos precoces. A identificação dos efeitos do período de cura permite estabelecer correlações entre laboratório e campo de modo mais realista, diminuindo possíveis discrepâncias.

6.3 ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

Os ensaios foram definidos buscando aqueles que poderiam revelar as diferenças nas respostas de comportamento mecânico das misturas. A partir da dosagem que definiu o teor ótimo para cada mistura, foram moldados corpos-de-prova Marshall, e submetidos ao ensaio de módulo de resiliência por compressão diametral e de resistência à tração por compressão diametral. Os valores de módulo de resiliência e de resistência à tração são fundamentais para o dimensionamento através de métodos

mecanísticos. Para o ensaio de deformação permanente foi moldado um par de placas para todas as misturas, para verificação de dosagem e de comportamento.

Os ensaios com variação no tempo de cura foram realizados somente para as misturas com emulsão modificada por polímero SBR, tendo em vista que os efeitos observados pelo tempo de cura não devem variar significativamente entre emulsão com polímero SBS e com polímero SBR.

Desta forma as misturas com polímero SBS foram avaliadas por meio de ensaio de módulo de resiliência e de resistência à tração em amostras com tempo de cura normatizado (24 horas a temperatura de 60°C); os ensaios de deformação permanente para estas misturas foram realizados após 24 horas de cura em estufa a 60°C mais sete dias a temperatura constante de 25°C.

As misturas com emulsão modificada por polímero SBR foram avaliadas nos períodos de cura descritos no item 6.2. Foram moldados quatro corpos-de-prova Marshall para cada mistura em cada condição de cura (24 horas, 07 dias, 14 dias e 28 dias), possibilitando uma análise estatística mais segura dos resultados. Para o ensaio de deformação permanente foi moldado um par de placas para cada mistura em cada condição de cura (07 dias e 28 dias).

6.3.1 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

A resiliência ou deformação recuperável é a capacidade que o material, sob ação de carga, possui de retornar ao estágio prévio à aplicação das tensões de deformação. O ensaio é realizado de acordo com a norma DNER-ME 133/94 simula a aplicação de cargas repetidas com frequência comparável ao carregamento do tráfego. O módulo de resiliência está relacionado à rigidez do material ou à sua capacidade de resistir às deformações. O ensaio por compressão diametral em amostras cilíndricas aplica cargas repetidas no sentido vertical, gerando tensões de tração no sentido horizontal (Figura 3).

A frequência de aplicação de carga de 1 Hz com duração de 1 segundo, com temperatura de 25°C, com carga equivalente a 15% da resistência à tração por compressão diametral. Os ensaios foram realizados, respeitando os períodos de cura estabelecidos.

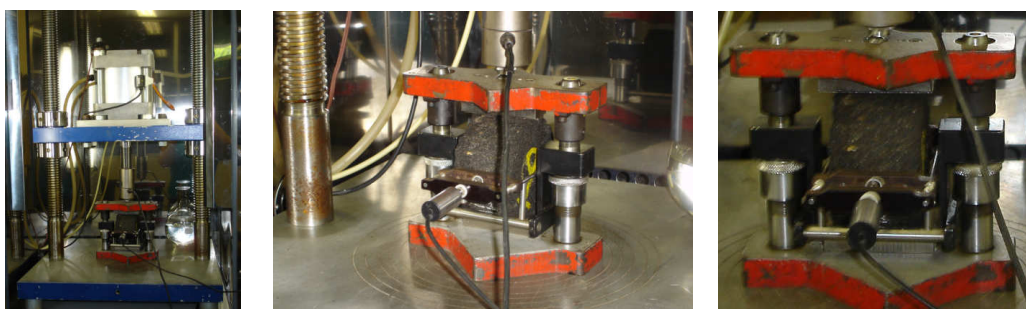


Figura 3 – Ensaio de módulo de resiliência por compressão diametral

Os resultados para as misturas ensaiadas são apresentados na Tabela 7. Observa-se variação considerável nos resultados em curtos períodos de cura. A variação do comportamento das misturas durante os 14 primeiros dias revela que o processo de cura, no qual ocorre a saída da água e a formação do filme asfáltico com o resíduo da emulsão, tem efeito significativo, não sendo adequado, adotar valores baseados em ensaios realizados neste período sob a possibilidade de se adotar valores inexpressivos para o controle do desempenho na execução da camada.

Tabela 7 – Resultados médios de módulo de resiliência de misturas a frio com emulsão SBR

Agregado Tipo	Faixa Granulométrica	Módulo de Resiliência (MPa)			
		Período de cura			
		1 dia	7 dias	14 dias	28 dias
Granito	Densa	946	1162	1653	1959
	Aberta	-	676	1225	1441
	GAP	840	989	1816	2134
	Semi Densa	687	948	1451	1810
Basalto	Densa	702	970	1589	1986
	Aberta	817	1092	1166	1242
	GAP	825	1127	1894	2012
	Semi Densa	804	1349	1668	1786

A Figura 4 apresenta os resultados de módulo de resiliência para comparação do comportamento em relação ao agregado (basalto ou granito). Observa-se que as misturas que utilizaram agregado granito tiveram melhores resultados aos 28 dias de cura. A variação é mais expressiva na faixa granulométrica densa, o que pode indicar que embora a cubicidade do basalto favoreça o esqueleto pétreo, densificação é mais evidente nas misturas com agregado granito. Contudo, as diferenças são discretas, sendo que esta variabilidade pode ser contornada, em função da disponibilidade dos agregados, sem prejuízo da qualidade das misturas.

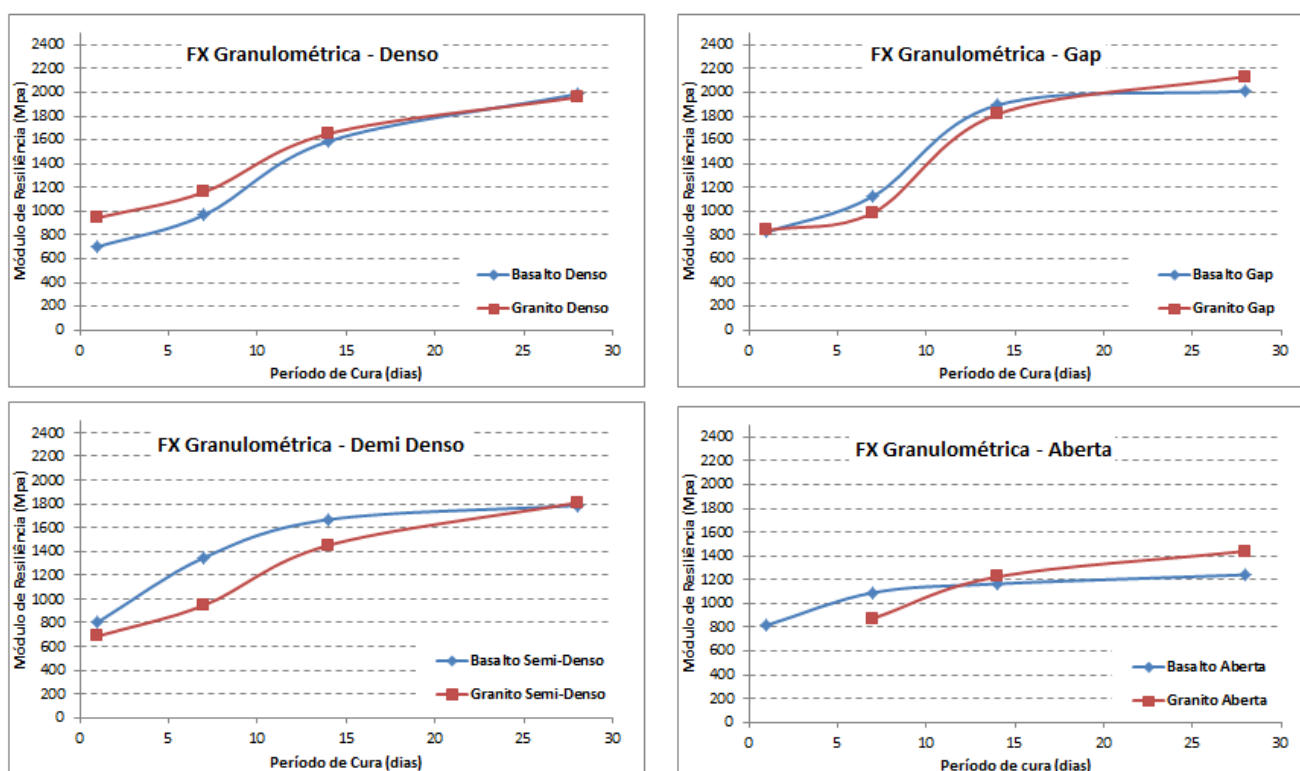


Figura 4 – Análise de desempenho comparativo com variação do tipo de agregado – Módulo de Resiliência

A variação estudada na faixa granulométrica é apresentada na Figura 5, para os dois tipos de agregado. As misturas com faixa granulométrica aberta tiveram os resultados mais baixos aos 28 dias de

cura, para os dois tipos de agregado, como Módulo de resiliência entre 1.200 MPa e 1.400 MPa; as misturas abertas apresentaram maior constância nos resultados a partir dos 14 dias de cura.

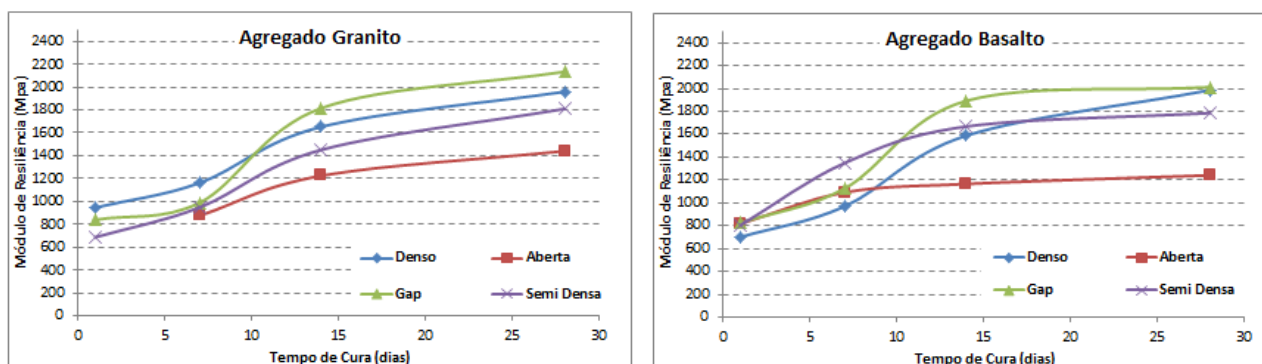


Figura 5 – Análise de desempenho das diferentes faixas granulométricas – Módulo de resiliência

As misturas com faixa granulométrica semi-densa apresentaram comportamento similar, para os dois tipo de agregado, com módulo de resiliência próximo de 1.800 MPa, sendo que ambas apresentaram comportamento mais constante aos 14 dias de cura. O comportamento da mistura semi-densa, se assemelha mais aos resultados obtidos para misturas densas, do que para misturas abertas, apesar de ser uma curva intermediária.

A mistura com faixa granulométrica densa com agregado granito teve comportamento estável porem com baixos valores de módulo, durante os primeiros dias de cura, e aumento significativo aos 28 dias. O comportamento foi similar em relação à cura, para as misturas com basalto, entretanto os resultados médios de módulo são mais baixos nesta mistura. O período de cura teve efeito muito significativo nas misturas densas, com resultados próximos de 1.900 MPa para ambos os tipos de agregado.

Para os dois tipos de agregado, a faixa granulométrica Gap teve os melhores resultados, com valor de módulo maior do que 2.000 MPa, e diferença discreta em relação ao tipo de agregado. A variação no período inicial de cura mostrou que utilizar resultados de amostras com curtos períodos de cura não reflete o comportamento real da mistura.

6.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O ensaio é padronizado sob a norma DNER-ME 138/94, executado a temperatura de 25°C, a partir da aplicação de carga vertical, distribuída numa barra, e promove a ruptura diametral do corpo-de-prova (Figura 6). A tensão de compressão aplicada na direção vertical gera tensões de tração na direção horizontal. O ensaio realizado em misturas asfálticas verifica seu comportamento quando existe tensão de tração por flexão, em geral na fibra inferior da camada aplicada.



Figura 6 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Os resultados médios são apresentados na Tabela 8. Observa-se que os resultados são constantes a partir dos 14 dias de cura, sendo possível utilizar esses dados para controle.

Tabela 8 - Resultados médios de resistência à tração de misturas a frio com emulsão SBR

Agregado Tipo	Faixa Granulométrica	Resistência à Tração (MPa)			
		Período de cura			
		1 dia	7 dias	14 dias	28 dias
Granito	Densa	0,285	0,275	0,310	0,345
	Aberta	0,190	0,200	0,207	0,210
	GAP	0,190	0,223	0,250	0,310
	Semi Densa	0,227	0,290	0,357	0,310
Basalto	Densa	0,143	0,248	0,310	0,303
	Aberta	0,153	0,225	0,233	0,257
	GAP	0,110	0,200	0,280	0,250
	Semi Densa	0,210	0,265	0,233	0,250

A Figura 7 apresenta a comparação em relação ao tipo de agregado. Observa-se que as misturas têm o comportamento coerente com o verificado por meio do ensaio de módulo de resiliência, tendo o agregado granito resultados discretamente superiores em relação aos resultados com basalto.

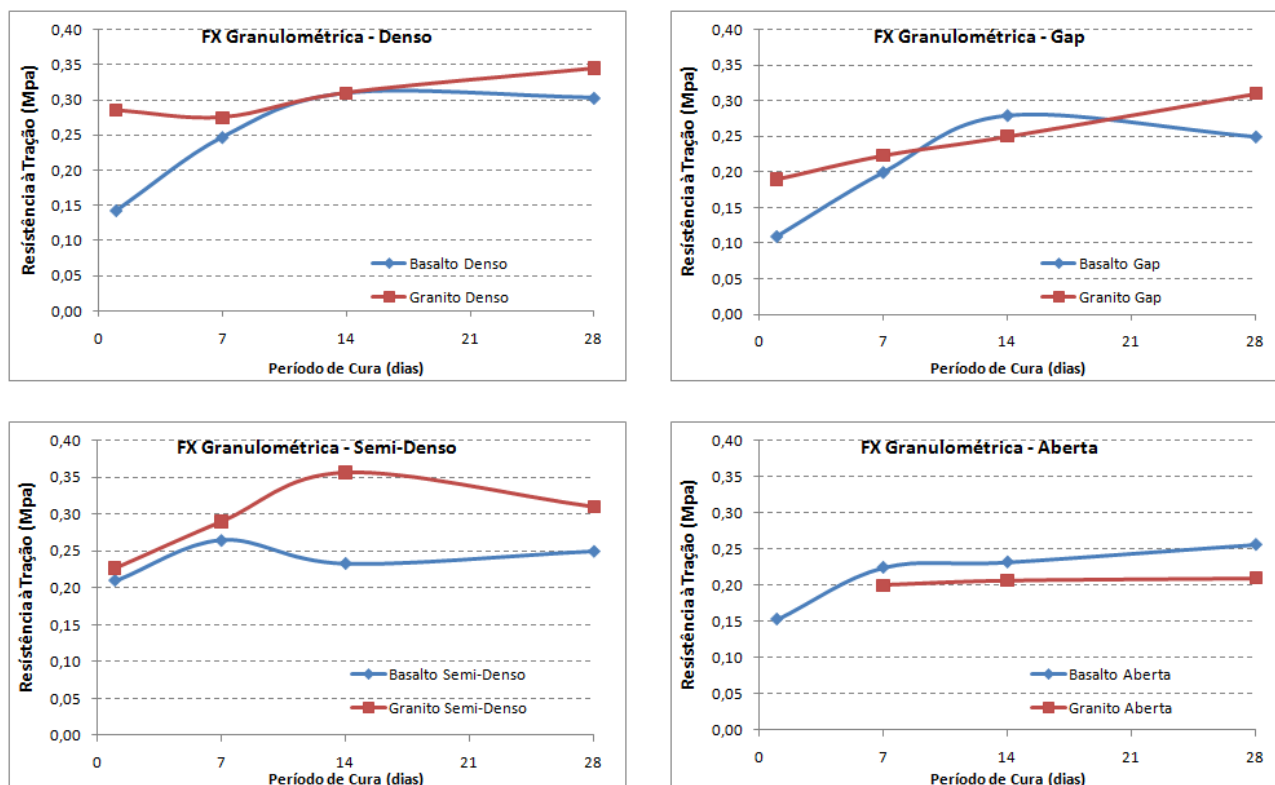


Figura 7 – Análise de desempenho comparativo com variação do tipo de agregado – Resistência à Tração

A comparação entre misturas com variação no tipo de agregado mostrou que aos 28 dias de cura, as misturas com agregado granito apresentam resultados superiores de resistência à tração em relação às misturas com agregado basalto. Contudo, as diferenças apontadas são consideravelmente sutis, podendo em campo se utilizar os dois tipos de material agregado.

Os resultados para comparação entre diferentes faixas granulométricas são apresentados na Figura 8. O comportamento das misturas aos 28 dias de cura é consideravelmente elevado em relação ao período de cura estabelecido em norma (1 dia em estufa a temperatura de 60°C).

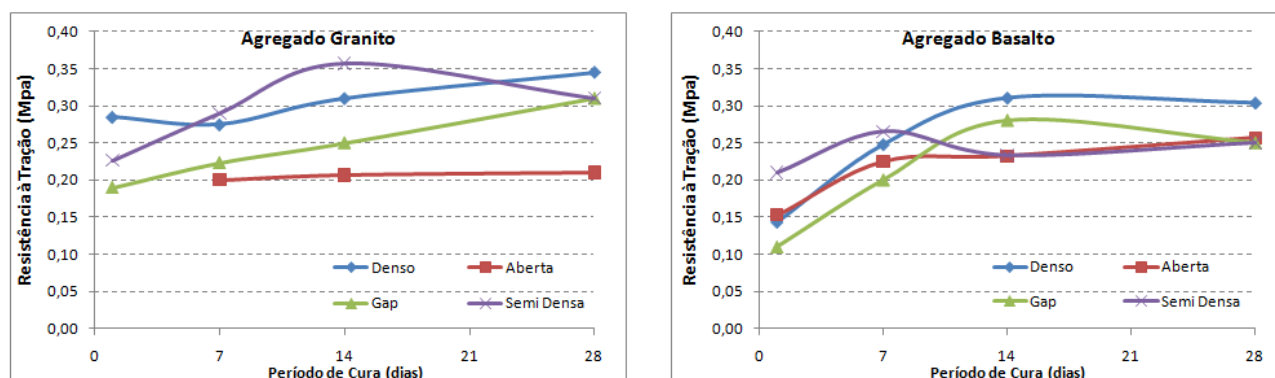


Figura 8 – Análise de desempenho das diferentes faixas granulométricas – Resistência à Tração

Os resultados indicam comportamento similar entre as misturas, com ascendência das misturas densas, resultado propiciado pela melhor coesão de misturas com maior fração fina. Estudos de outros autores mostram que o ganho de resistência se estende por meses em misturas com emulsão asfáltica; estes valores são considerados representativos para misturas em fase inicial de vida de serviço.

6.3.3 DEFORMAÇÃO PERMANENTE

O ensaio de deformação permanente realizado com equipamento simulador de tráfego de laboratório (LPC) em amostras compactadas na mesa compactadora tipo LPC (Figura 9). O equipamento possui um eixo com dois pneus (um para cada placa simulada), sendo aplicados ciclos de ida e volta numa frequência de 1 Hz em contato com a placa, em temperatura constante de 60°C, acelerando a deformação por afundamento em trilha de roda, de modo que o afundamento a final do ensaio indica se existe necessidade de correção da dosagem da mistura, ou se a mistura dosada tem eficiência para resistir à deformação permanente. O ensaio é realizado posteriormente aos ensaios de módulo de resiliência, como um estágio mais avançado para verificação da dosagem em função do comportamento mecânico.



Figura 9 – Mesa compactadora e Simulador de trafego LPC

O ensaio tem condições severas de realização, devido à frequência e temperatura, de modo a acelerar a obtenção de resultados; contudo a severidade do ensaio sobre amostras de misturas a frio, pode ter uma sobreposição de efeitos nos resultados, definidos como:

- Efeito da temperatura do ensaio no processo de cura;
- Efeito do período de cura estendido sobre o comportamento.

O efeito da temperatura do ensaio (60°C), que pode inicialmente, acelerar a cura do material, reduzindo assim a deformação total final, não foi estudado nesta pesquisa, devido a extensão do assunto. O efeito do período de cura das amostras ensaiadas foi avaliado de acordo com os mesmos conceitos utilizados na avaliação por meio de ensaios de módulo de resiliência e de deformação permanente.

Para esta avaliação, foram consideradas as oito misturas que utilizam emulsão modificada por polímero SBR. Inicialmente a pesquisa avaliou o comportamento de misturas compactadas e mantidas em estufa por 24 horas à temperatura de 60°C, conforme preparo de amostras, normatizado por DNER ME 107/94, contudo os resultados este curto período de cura foram desprezíveis, com deformação permanente muito elevada para baixos números de ciclos, de modo que se definiu o prazo de sete dias, como mínimo para a realização dos ensaios. A insignificante variação nos resultados entre 07 e 14 dias, não permitiu que fossem adotados estudos sobre resultados aos 14 dias de cura, de tal forma que para este ensaio foram adotados os períodos de 7 e 28 dias para avaliação. Para as misturas com emulsão modificada por polímero SBS, os ensaios foram realizados em amostras com 7 dias de cura.

Os resultados são apresentados na Tabela 9, para cada mistura ensaiada em cada período de cura definido, e simulados até os 3.00 mil ciclos. Em anexo são apresentados os gráficos de deformação permanente.

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de Deformação permanente para as misturas a frio avaliadas na pesquisa

Agregado Tipo	Faixa Granulométrica	Deformação Permanente (%)		
		Período de Cura		
		7 dias	28 dias	7 dias
		Emulsão SBR		Emulsão SBS
Granito	Densa	17,18	19,57	25,52
	Aberta	18,42	11,68	-
	GAP	26,20	26,23	16,27
	Semi Densa	16,84	23,36	14,13
Basalto	Densa	19,00	15,95	13,02
	Aberta	17,85	25,04	17,18
	GAP	28,54	24,08	13,34
	Semi Densa	31,22	24,26	22,44

Observa-se que os resultados de deformação permanente são bastante elevados, que pode indicar que mesmo o período de cura de 28 dias não é suficiente para dar respostas confiáveis do comportamento das misturas asfálticas a frio. A comparação dos resultados com limites estabelecidos para misturas asfálticas a quente mostra um desempenho muito inferior das misturas a frio, contudo os resultados dos ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração não mostraram essa mesma disparidade, o que reforça a severidade do ensaio para misturas a frio e a exigência de se prolongar o período de cura. Cabe reforçar que os ensaios de deformação permanente desenvolvidos pelo LCPC para aplicação no equipamento francês, não contemplam misturas a frio, pois estas não são utilizadas como camada de rolamento na França.

7 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa laboratorial com misturas asfálticas a frio procurou identificar os fatores que influenciam o desempenho destas misturas, por meio da variação do tipo de agregado, tipo de polímero utilizado na modificação da emulsão asfáltica, tipo de distribuição granulométrica e tempo de cura.

A dosagem Marshall foi utilizada para nortear os parâmetros das misturas, por ser um processo bastante difundido e permitir estabelecer dados de controle de fácil realização. Os dados desta pesquisa devem nortear a aplicação em campo de misturas mais adequadas às diferentes solicitações e disponibilidade de material em locais com menor infraestrutura laboratorial de apoio. Cabe ressaltar que esta pesquisa não contemplou a execução de trechos experimentais.

A dosagem a partir de corpos-de-prova moldados em prensa de compactação por cisalhamento giratório não foi contemplada nesta pesquisa, devido à variação entre métodos, que resultaria em parâmetros de controle sem correlação direta. Estudos com a prensa foram realizados para verificação da aptidão a compactação, contudo não houve diferença significativa que pudesse ser considerada conclusiva. Novos estudos devem ser realizados no futuro com a comparação da densificação a partir de diferentes intervalos do número de giros na presa de compactação por cisalhamento giratório, e associados à dosagem por meio da prensa.

Os períodos de cura estabelecidos revelaram diferenças importantes nos resultados dos ensaios de comportamento mecânico, evidenciando que valores baseados em curtos períodos de cura conduzem a equívocos. A variabilidade durante o período de cura está diretamente associada à perda da água, que em campo pode ter maior variabilidade em função das condições climáticas. É fundamental adotar valores de

referência baseados em resultados com amostras em processo de cura avançado, uma vez que valores muito baixos, baseados em amostras com curtos períodos de cura, podem permitir que misturas sem qualidade sejam aplicadas.

Os resultados da comparação entre agregados mostrou sutil superioridade nas misturas com agregados granito, em relação aos agregados basalto; entretanto as diferenças não são significativas de modo que inviabilize a utilização de agregado basalto, sendo que as perdas não são significativas quando se utiliza este material. Quando da disponibilidade de basalto em detrimento do granito, a substituição pode ser feita sem necessidade de ajustes de qualquer natureza.

Os ensaios de módulo de resiliência e de resistência à tração mostraram que os resultados são influenciados pelo tipo de agregado e pela faixa granulométrica. A faixa granulométrica aberta teve os resultados mais baixos para estes ensaios, revelando que a baixa coesão deste tipo de distribuição afeta consideravelmente as características de resistência da mistura.

A faixa granulométrica Gap teve o melhor comportamento no ensaio de módulo de resiliência, e também o maior teor de emulsão, que em análise simplificada, atribui maior espessura de filme asfáltico e, portanto, melhores condições de resistir ao carregamento repetitivo.

A faixa granulométrica Densa apresentou melhores resultados nos ensaios de resistência à tração, revelando que a coesão da mistura lhe permite resistir com mais eficiência às tensões de tração. A faixa granulométrica semi-densa possui menor fração fina do que a faixa densa, que lhe atribui menor coesão; este fator revelou comportamento similar porém inferior à mistura com faixa granulométrica densa.

As misturas a frio apresentam de modo geral, menor coesão e características de resistência inferiores às misturas a quente; as misturas a frio se deformam mais significativamente. O ensaio de fadiga aplica carga de forma similar ao ensaio de módulo de resiliência, contudo é mais severo, não sendo possível realizar o ensaio de fadiga, devido à elevada deformação dos corpos-de-prova.

A variação no tipo de polímero não revelou diferenças expressivas no comportamento mecânico das misturas, bem como em parâmetros volumétricos e de teor. O fator mais importante relacionado ao uso de emulsão é o processo de cura. O teor de emulsão associado à resistência à fadiga deve ser avaliado em campo, com maior profundidade.

Os resultados de módulo de resiliência e de resistência à tração, fundamentais no dimensionamento de estruturas de pavimento devem nortear a aplicação de camada de mistura a frio. Certamente o fator de maior influência é a faixa granulométrica adotada, que apresenta variações significativas. O comportamento das misturas pode ser classificado na seguinte ordem:

1. Gap
2. Denso
3. Semi-denso
4. Aberta

Os dados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa revelaram variações importantes para a aplicação de misturas a frio em relação à distribuição granulométrica e os procedimentos para obtenção de resultados mais realistas. A verificação destes resultados deve ser feita através da execução de trechos

experimentais, que permitam verificar a variabilidade de resultados em relação à evolução da cura da mistura, características de resistência, fadiga e deformação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo. Regulamento Técnico N. 05 - Emulsões Asfálticas Catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos. 2009.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás, ABEDA, 2007. 501

CUNHA, M.B. Avaliação do Método Bailey de Seleção Granulométrica de Agregados para Misturas Asfálticas. 2004. (Dissertação de Mestrado). Infra-Estrutura de Transportes, EESC, São Carlos.

DNER-ME-035/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles" 1998.

DNER-ME-054/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Equivalente de areia. 1997.

DNER-ME-086/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Índice de Forma. 1994.

DNER-ME-107/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Mistura Betuminosa a frio com emulsão asfáltica - Ensaio Marshall., 1994.

DNER-ME-133/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Determinação do módulo de resiliência - misturas betuminosas., 1994.

DNER-ME-138/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Misturas Betuminosas - Determinação da Resistência à tração por Compressão Diametral, 1994.

JAMES, A. Overview of Asphalt Emulsions. Transportation Research Circular, 2006.

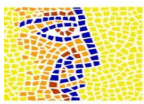
LEITE, L. F. M. Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero. 1999. 269 (Doutorado). Tese, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro.

MACHADO, R. Z. Asfalto modificado por polímero SBS para pavimentos drenantes. 2007. (Dissertação de mestrado). Ciência e tecnologia de materiais, UNICAMP, Campinas.

QUINTUS, H. L. V.; MALLELA, J.; BUNCHER, M. Quantification of Effect of Polymer-Modified Asphalt on Flexible Pavement Performance. Transportation Record Board, 2001.

SALOMON, D. "A Green Technology Comes of Age. LTRC Emulsion: Design, Construction, and Performance Conference. Baton Rouge, Louisiana 2008.

ZEGARRA, E. Ligantes asfálticos peruanos convencional PEN 60 / 70 e modificados por polímero SBS tipo I 60 / 60 e PG 76 -22. 2007. (Dissertação de Mestrado). Infra-Estrutura de Transportes, EESC, São Carlos.



9 ANEXO

Dosagem Marshall das misturas avaliadas nesta pesquisa.

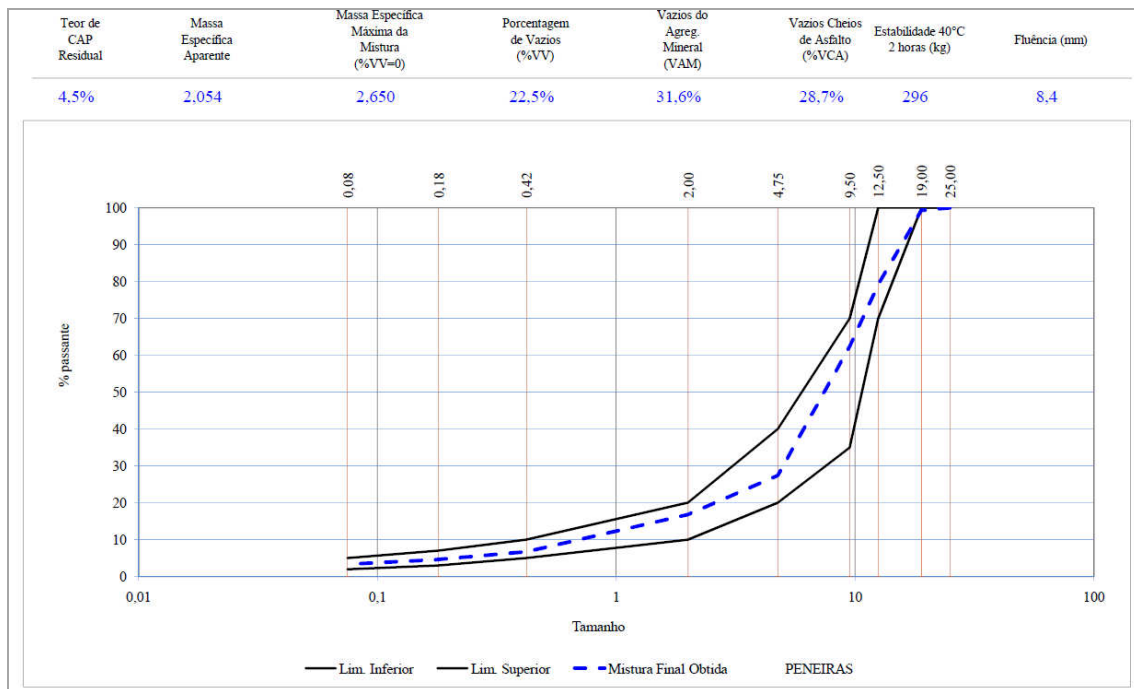


Figura 10 – Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A1

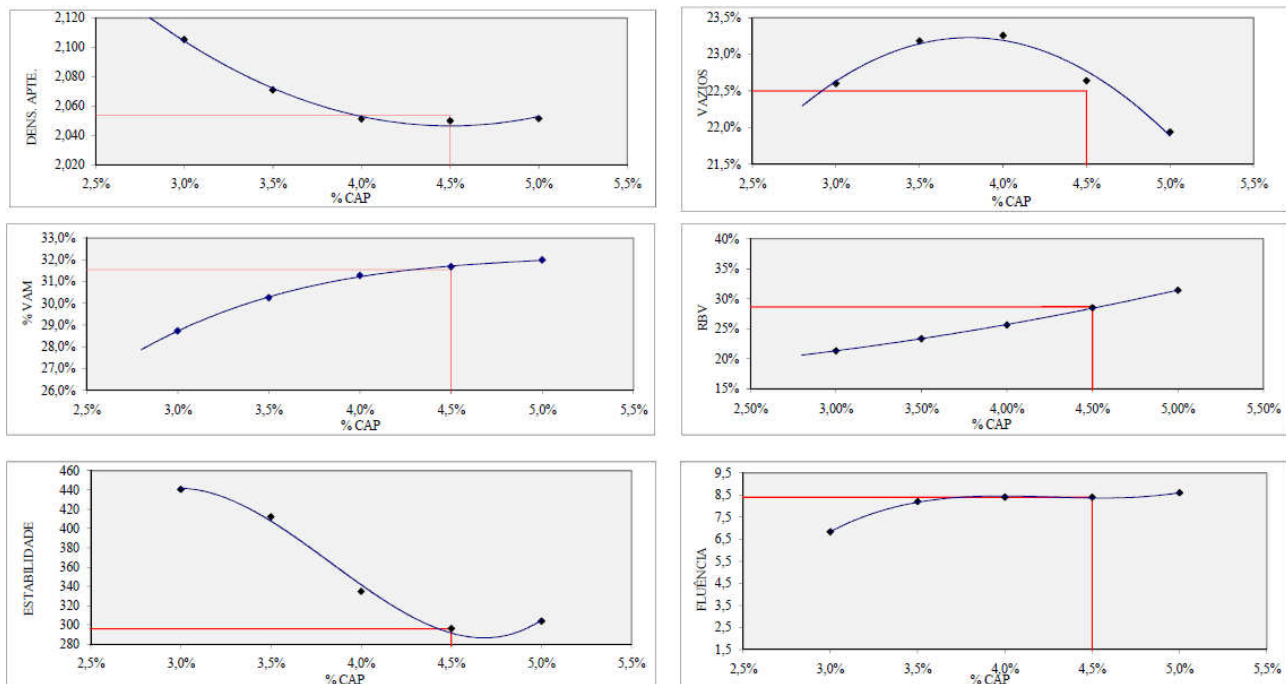


Figura 11 – Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A1

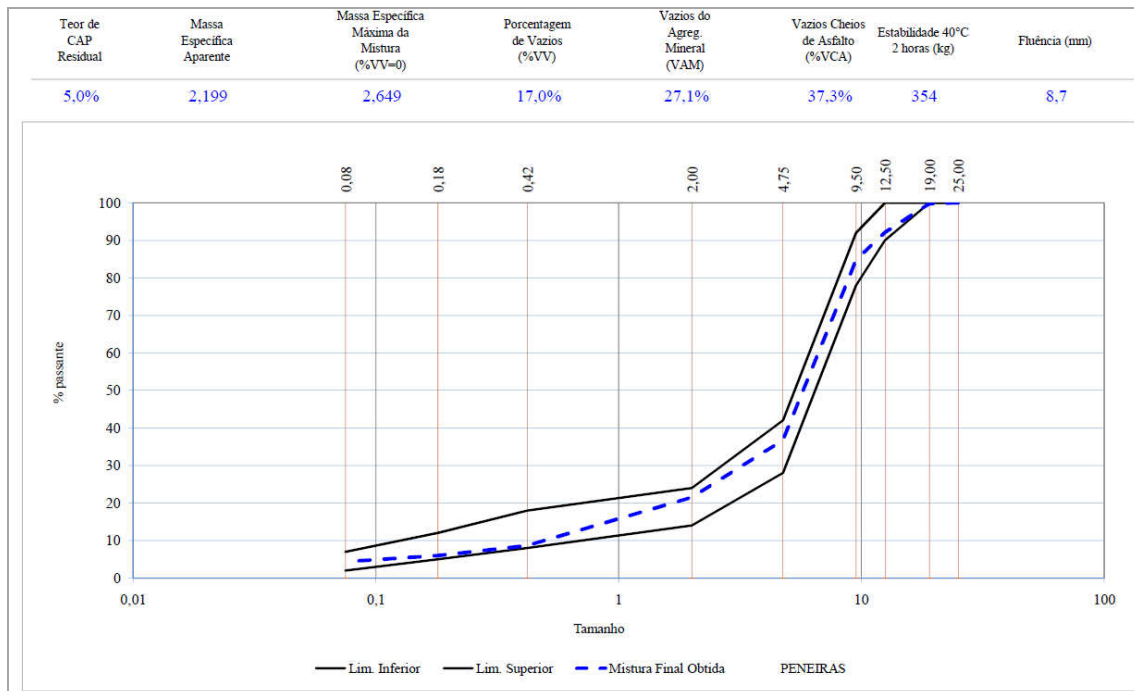
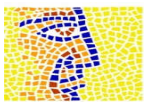


Figura 12 - - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A2

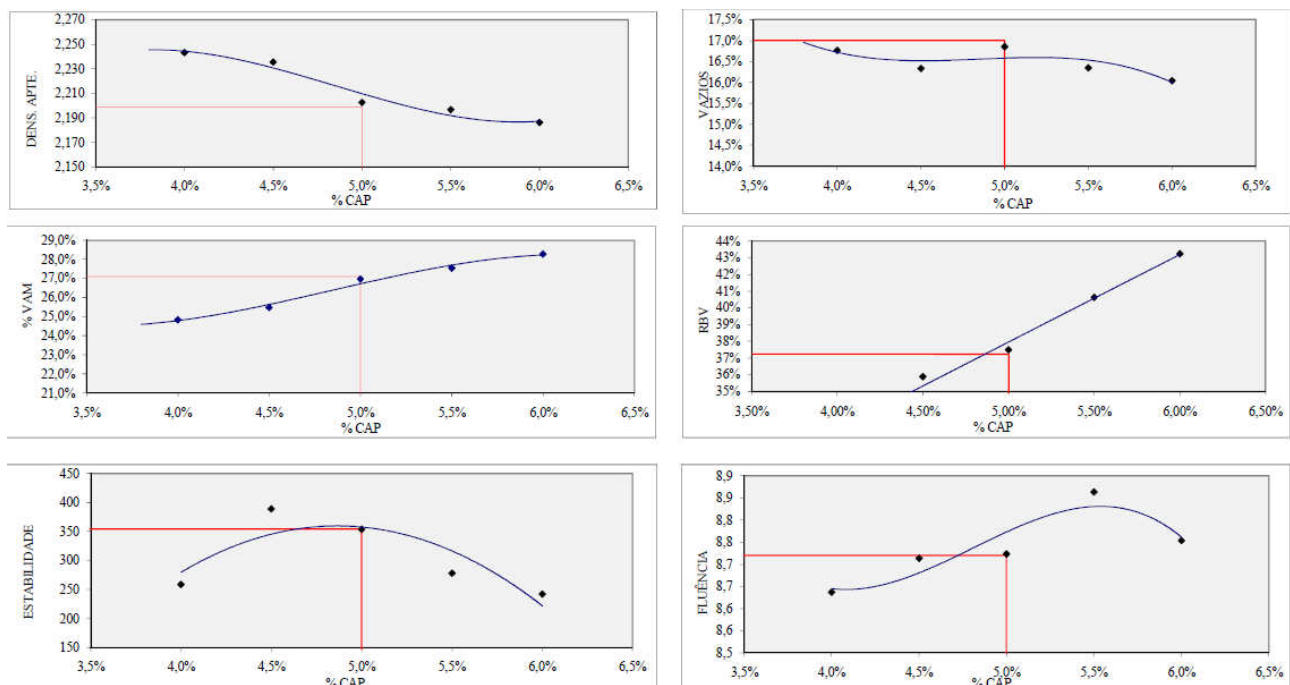


Figura 13 - - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A2

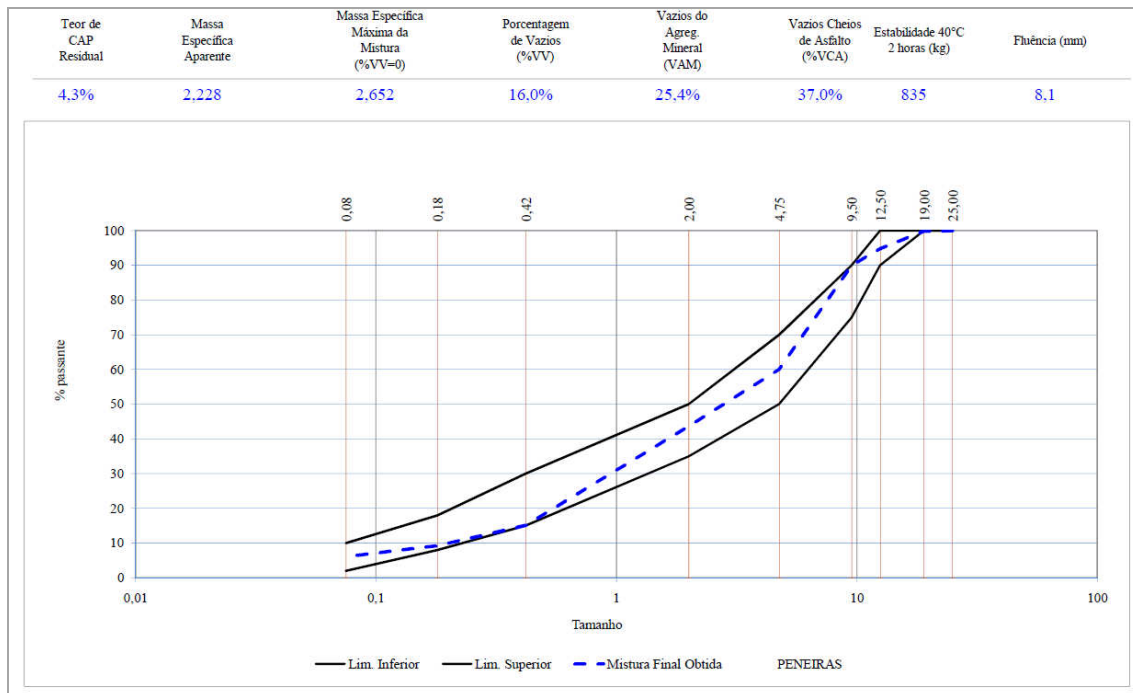
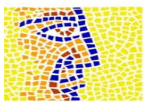


Figura 14 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A3

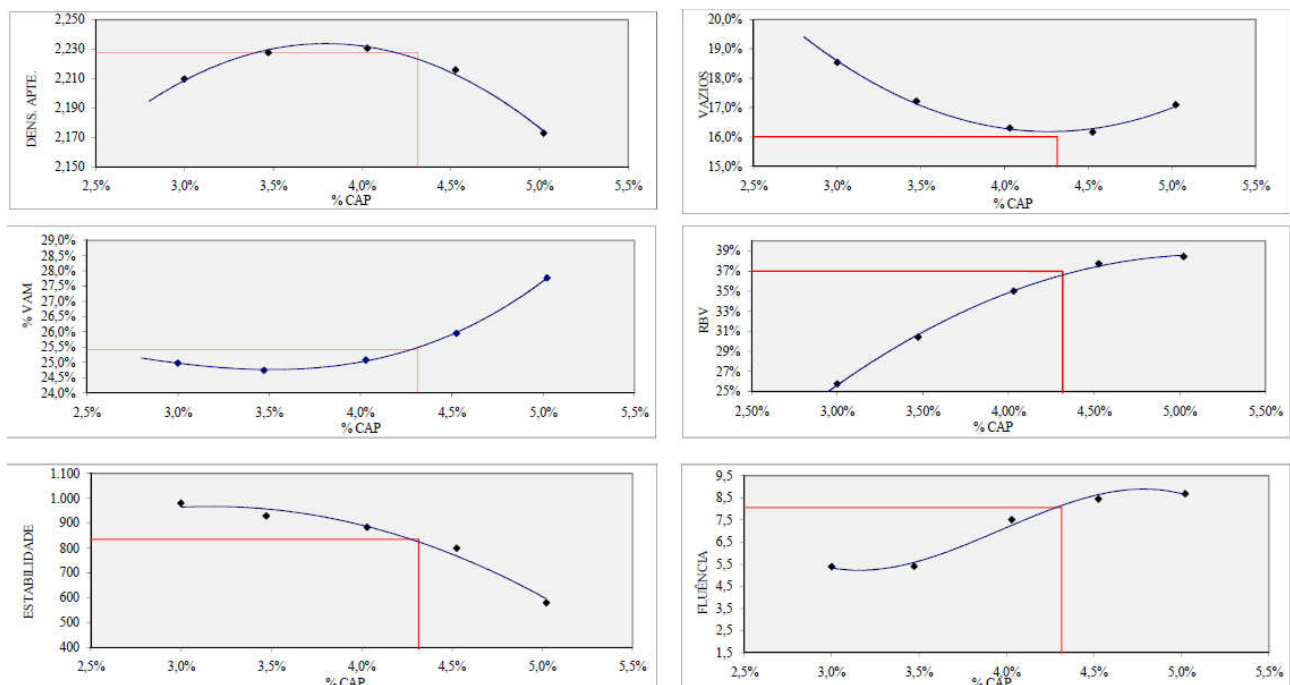


Figura 15 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A3

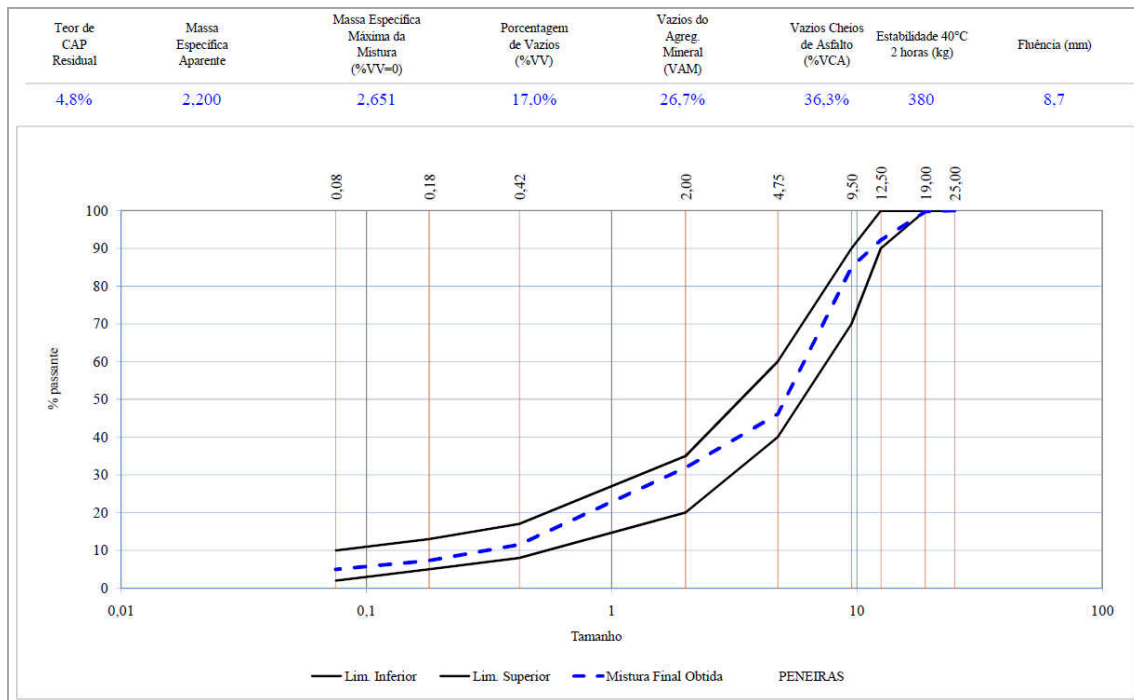
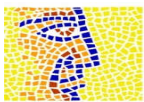


Figura 16 - Faixa granulométrica Semi -Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A4

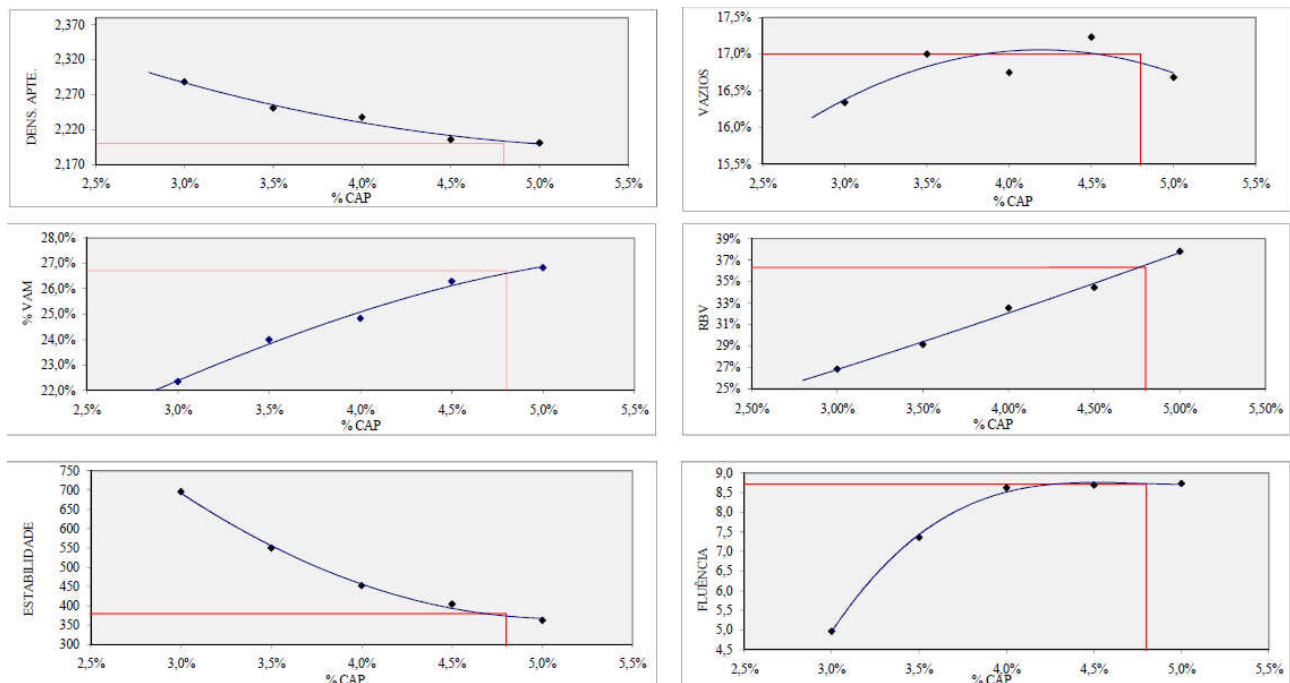


Figura 17 - Faixa granulométrica Semi -Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A4

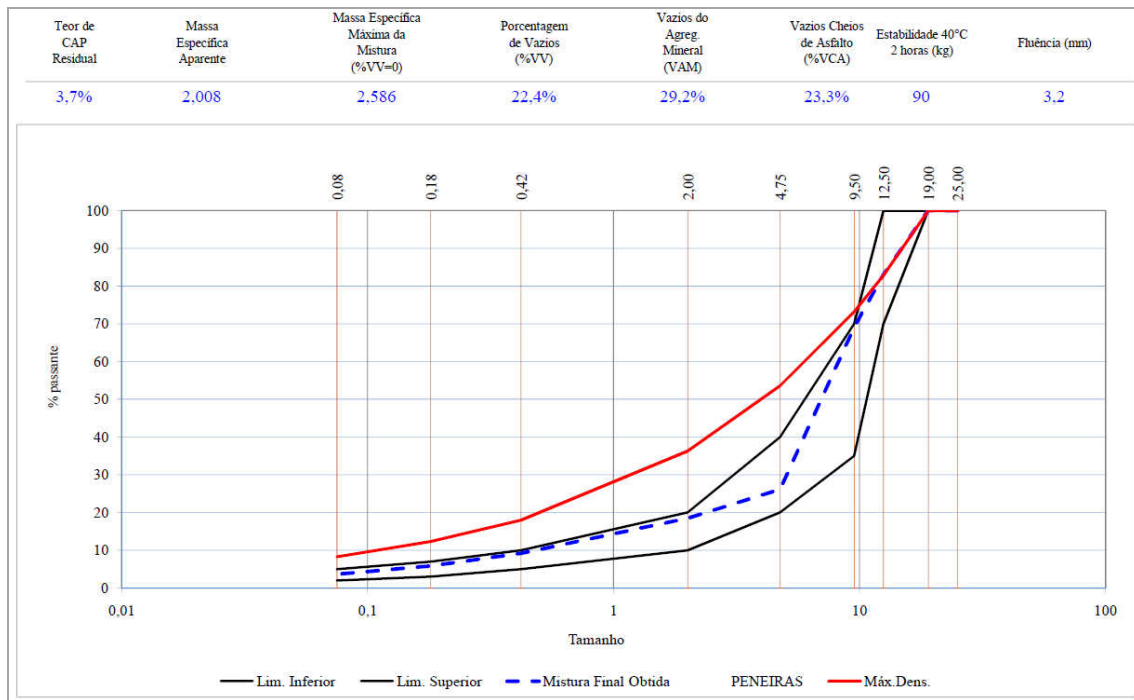
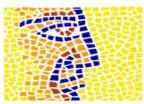


Figura 18 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B1

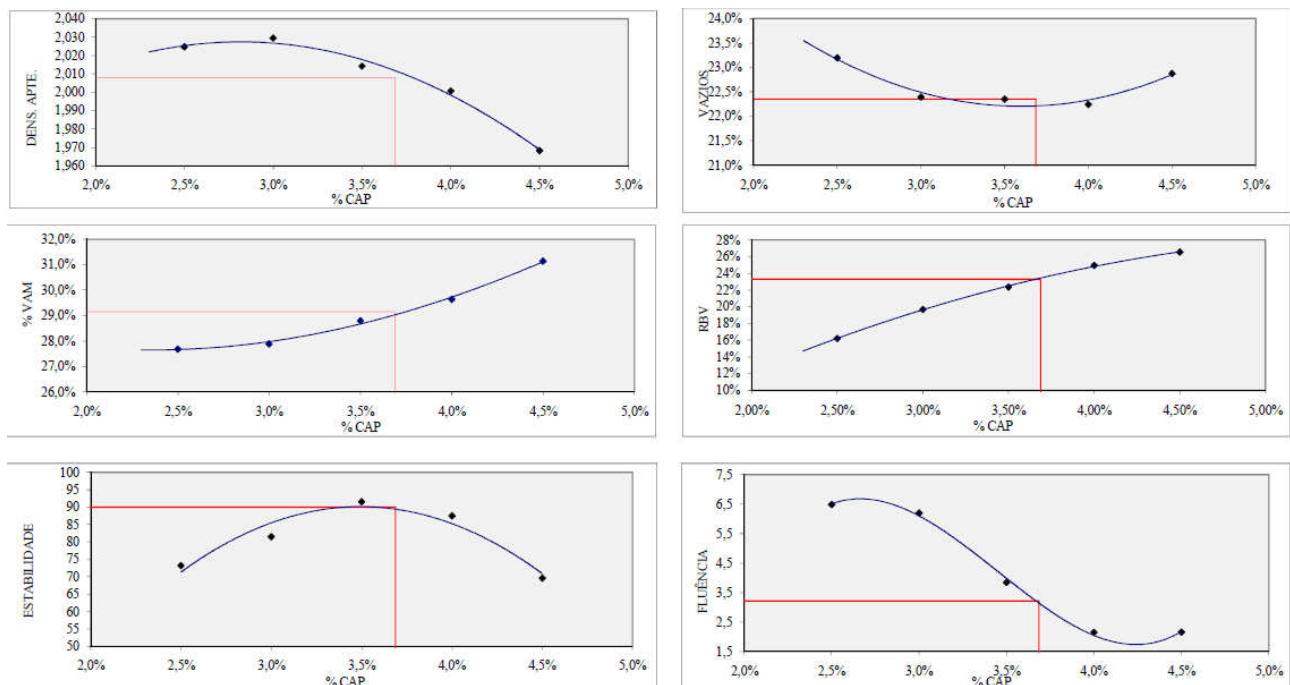


Figura 19 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B1

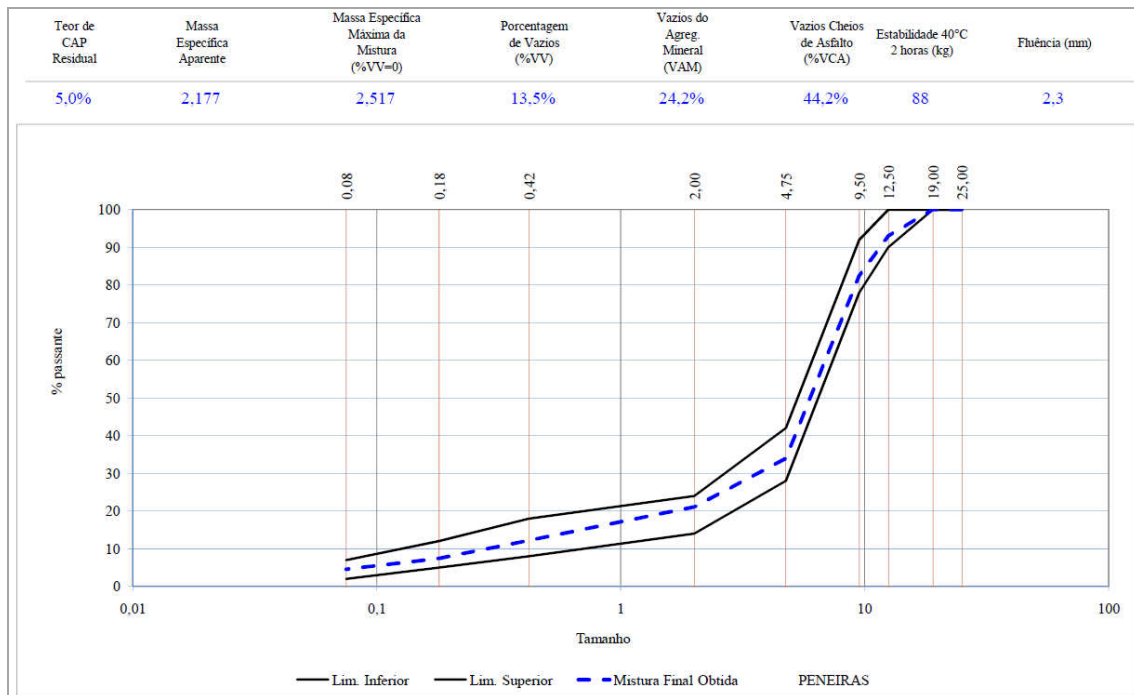
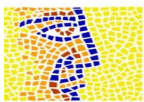


Figura 20 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B2

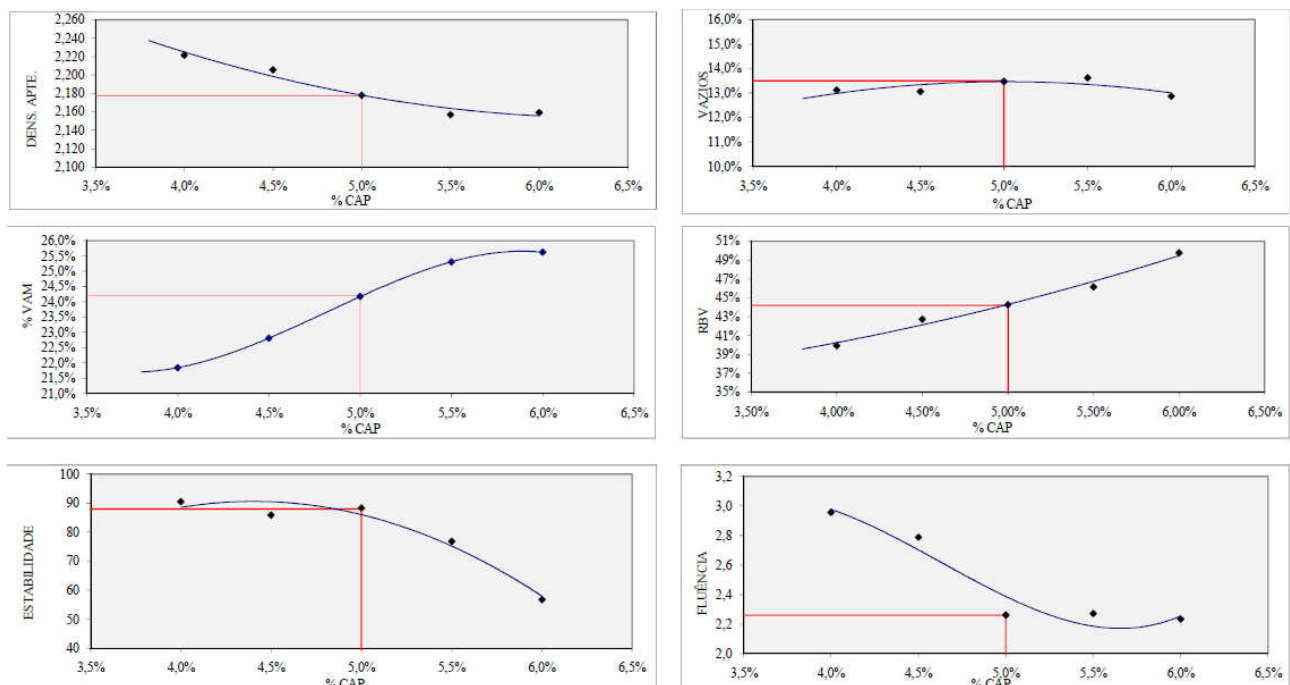


Figura 21 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B2

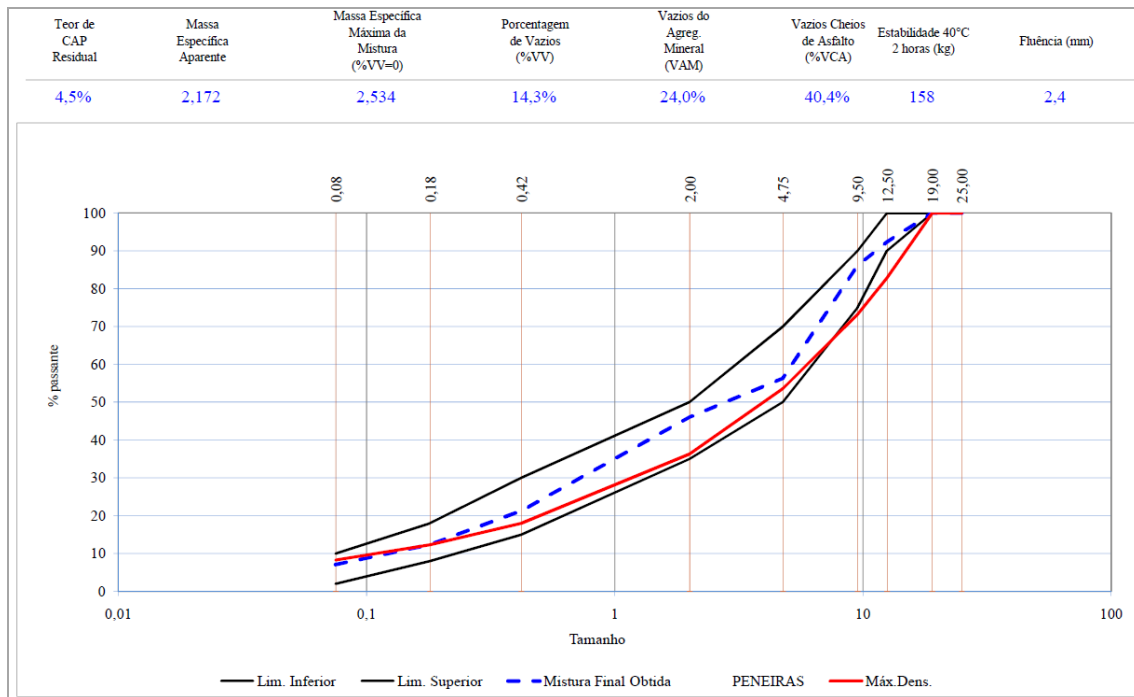
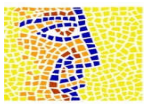


Figura 22 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B3

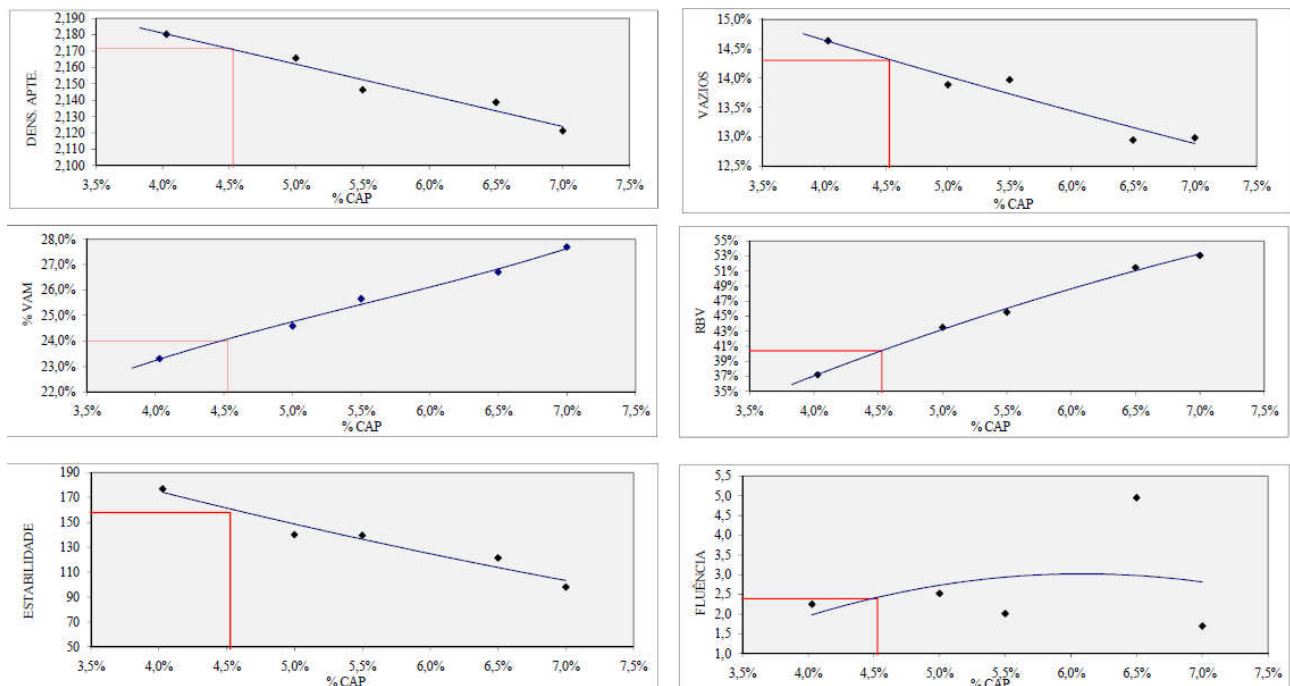


Figura 23 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B3

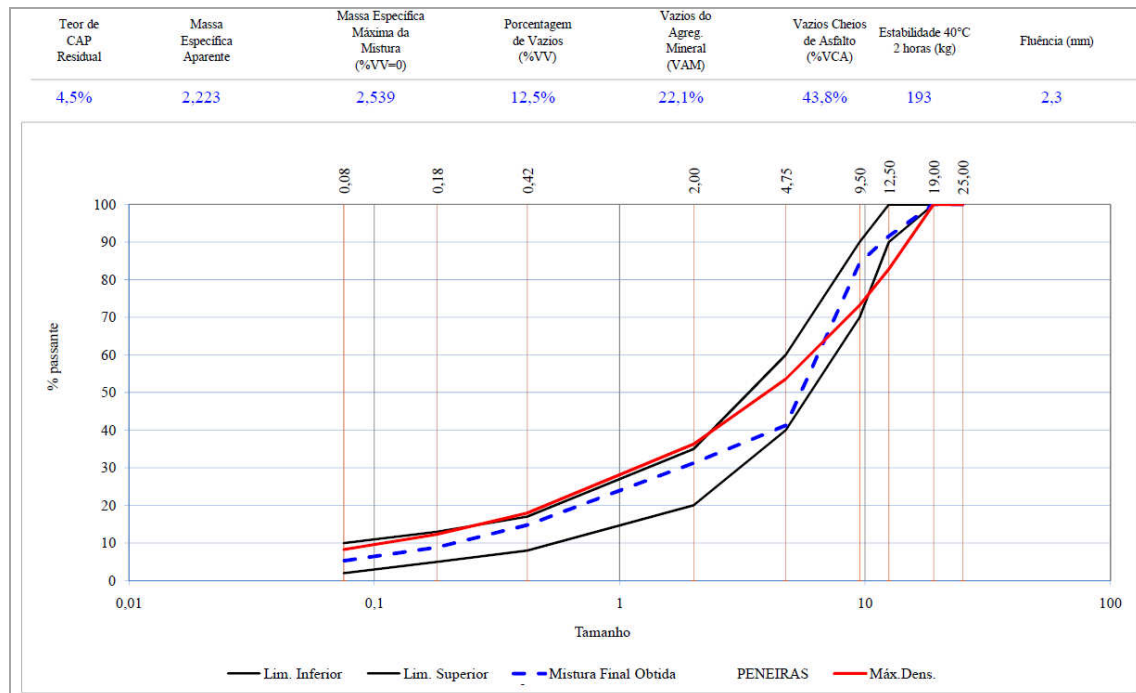
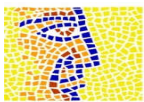


Figura 24 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B4

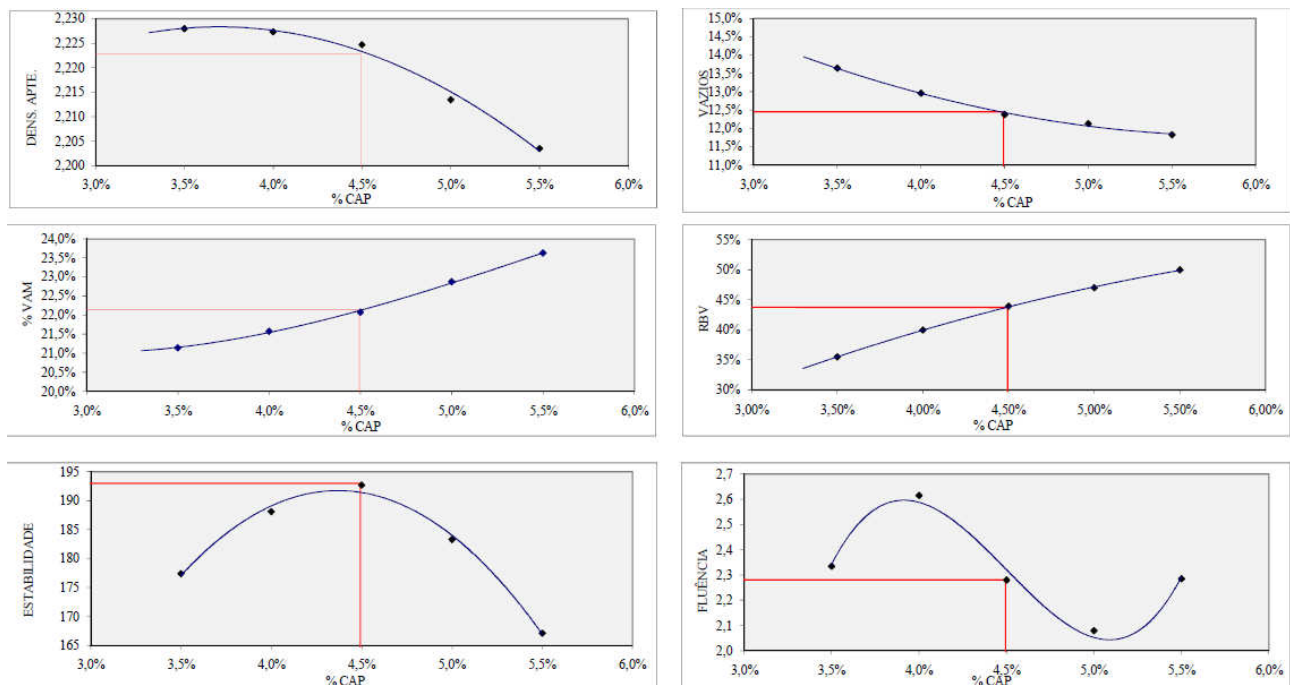


Figura 25 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B4

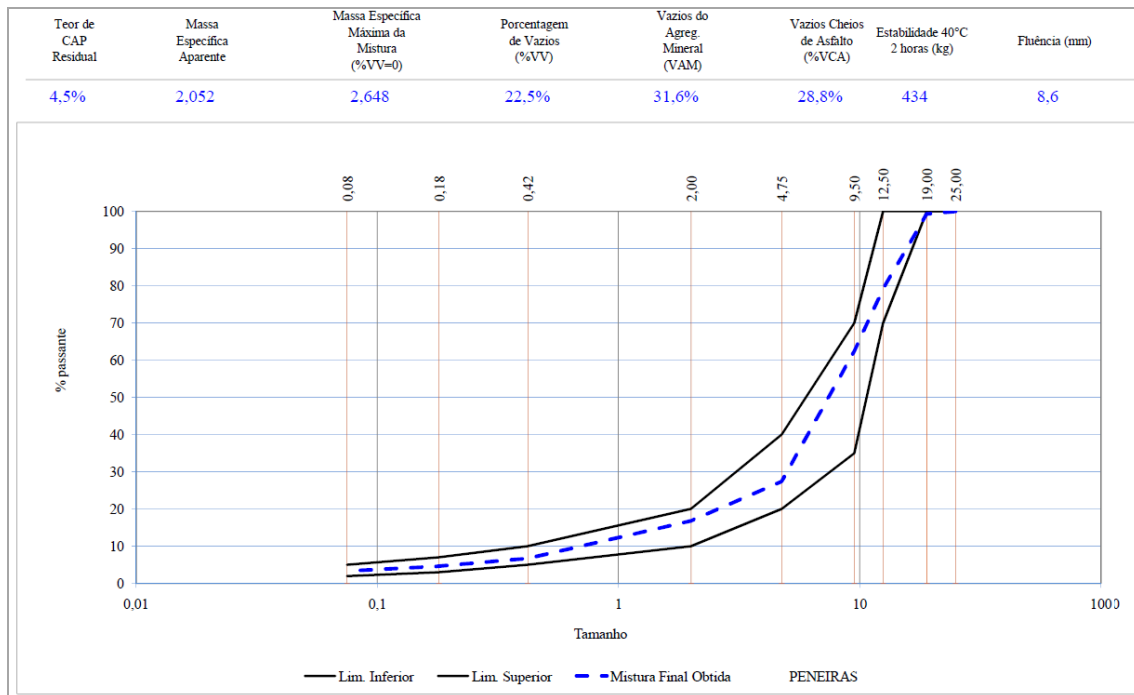
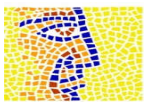


Figura 26 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C1

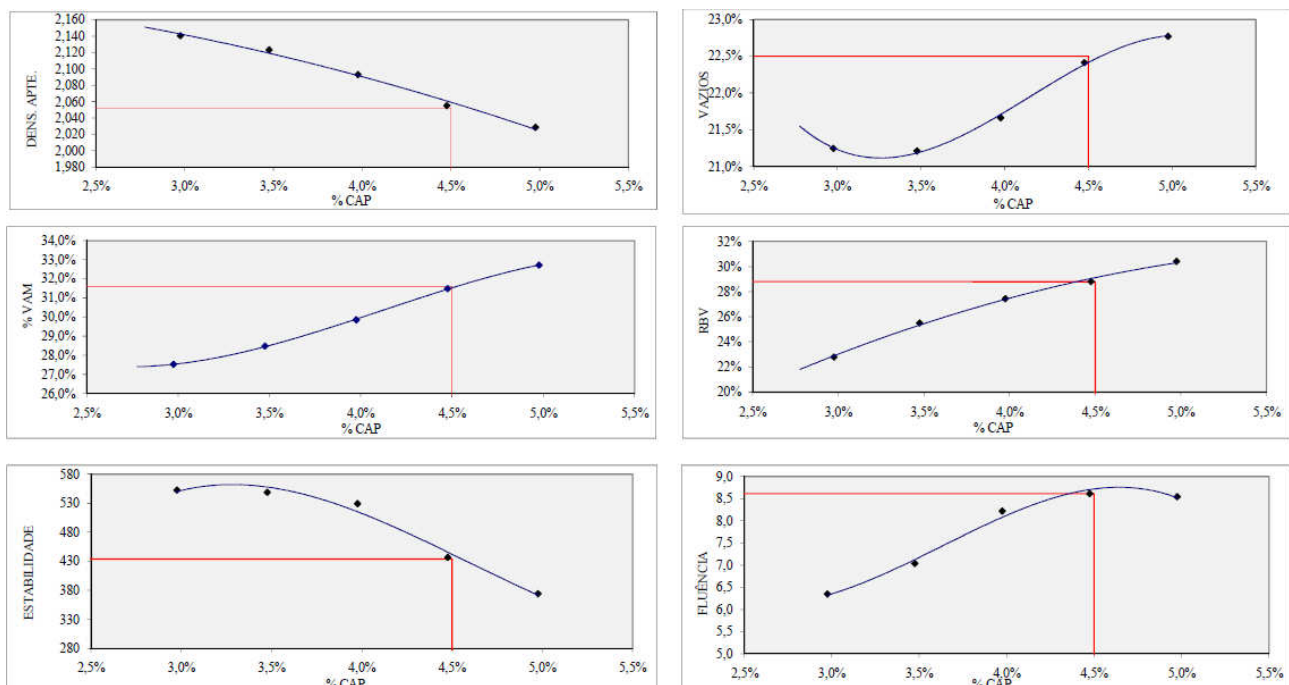


Figura 27 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C1

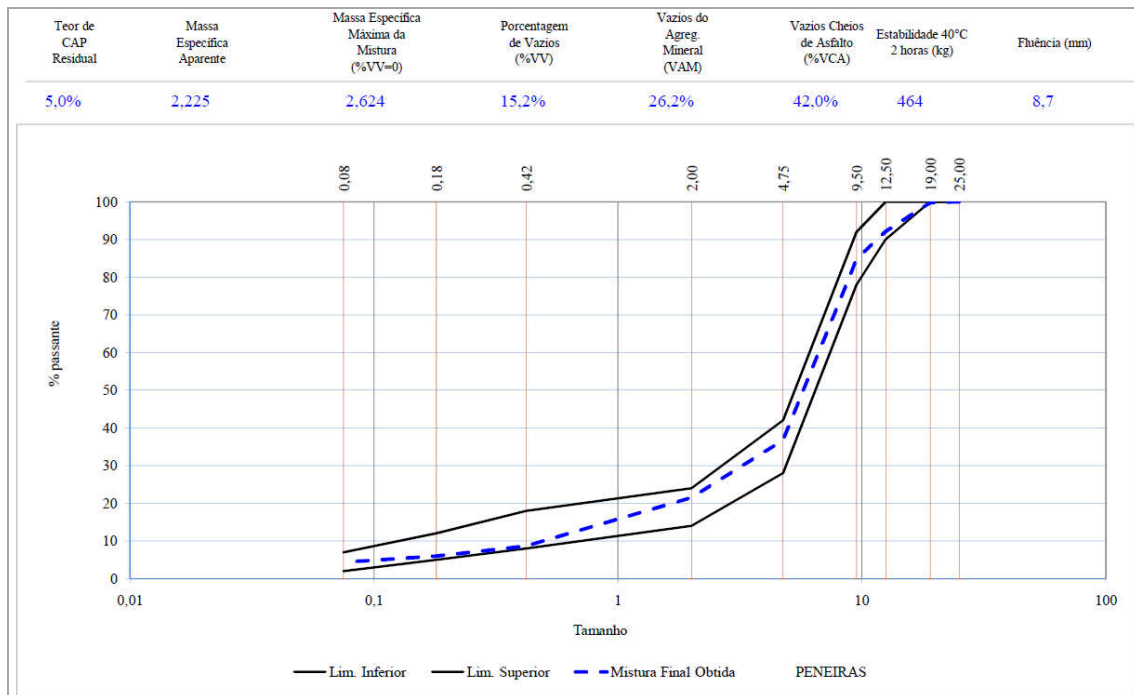
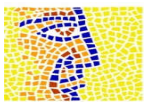


Figura 28 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C2

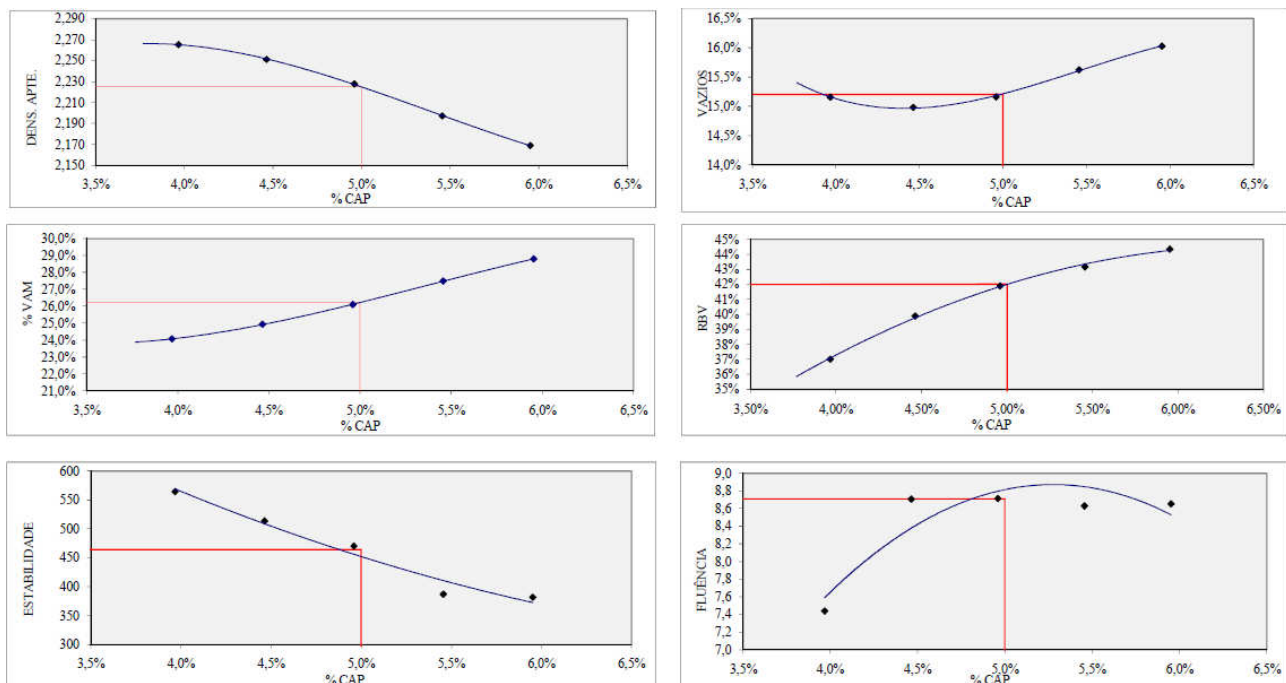


Figura 29 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C2

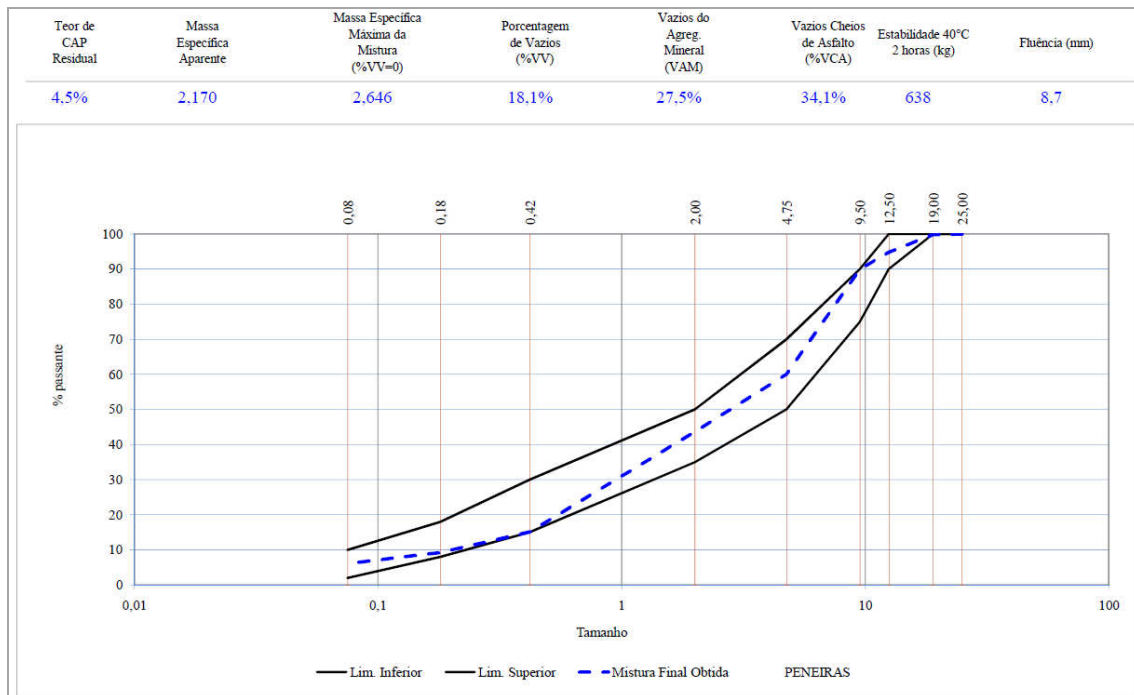
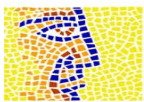


Figura 30 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C3

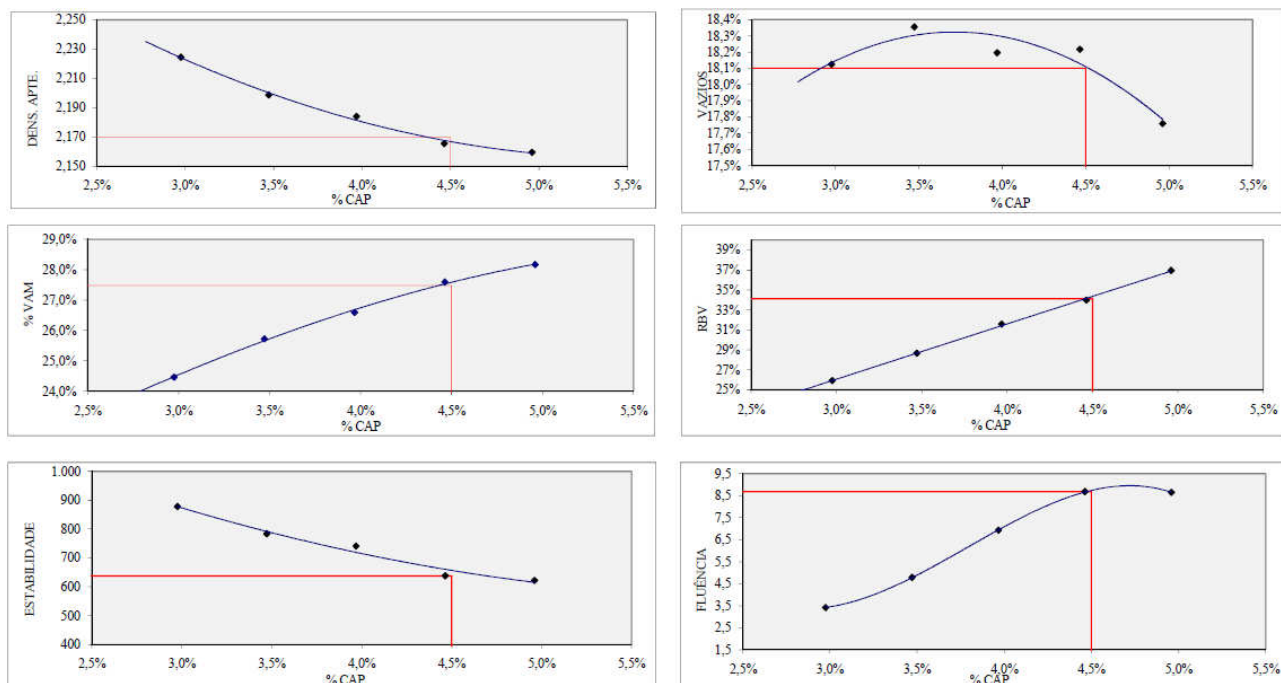


Figura 31 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C3

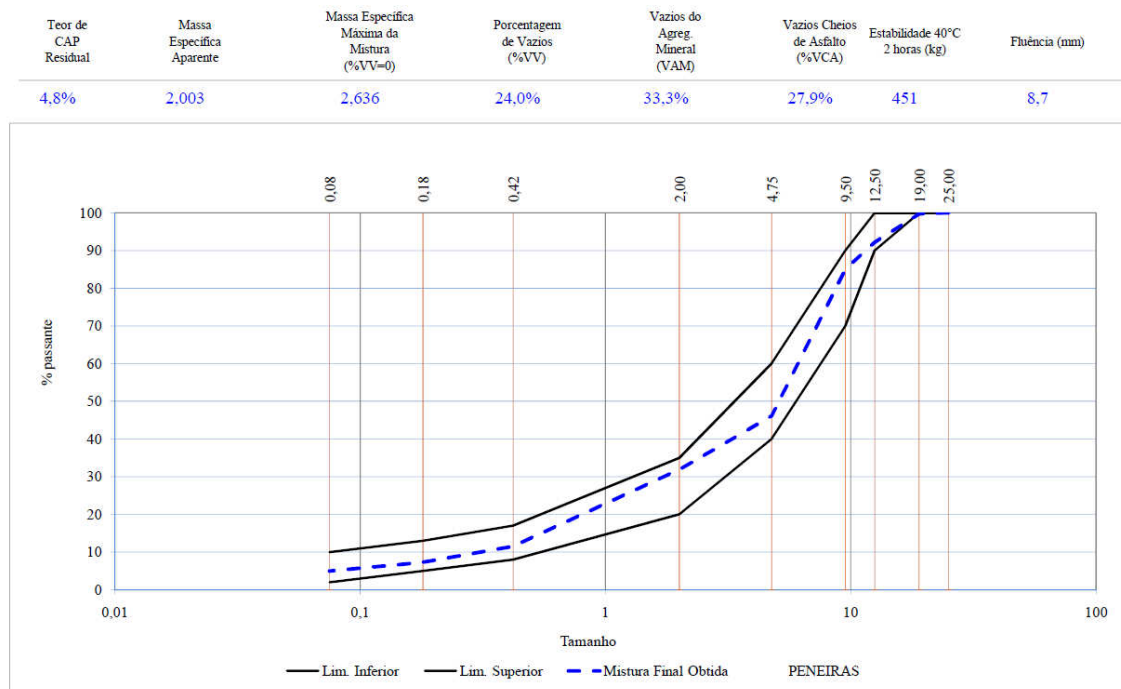
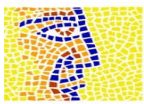


Figura 32 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C4

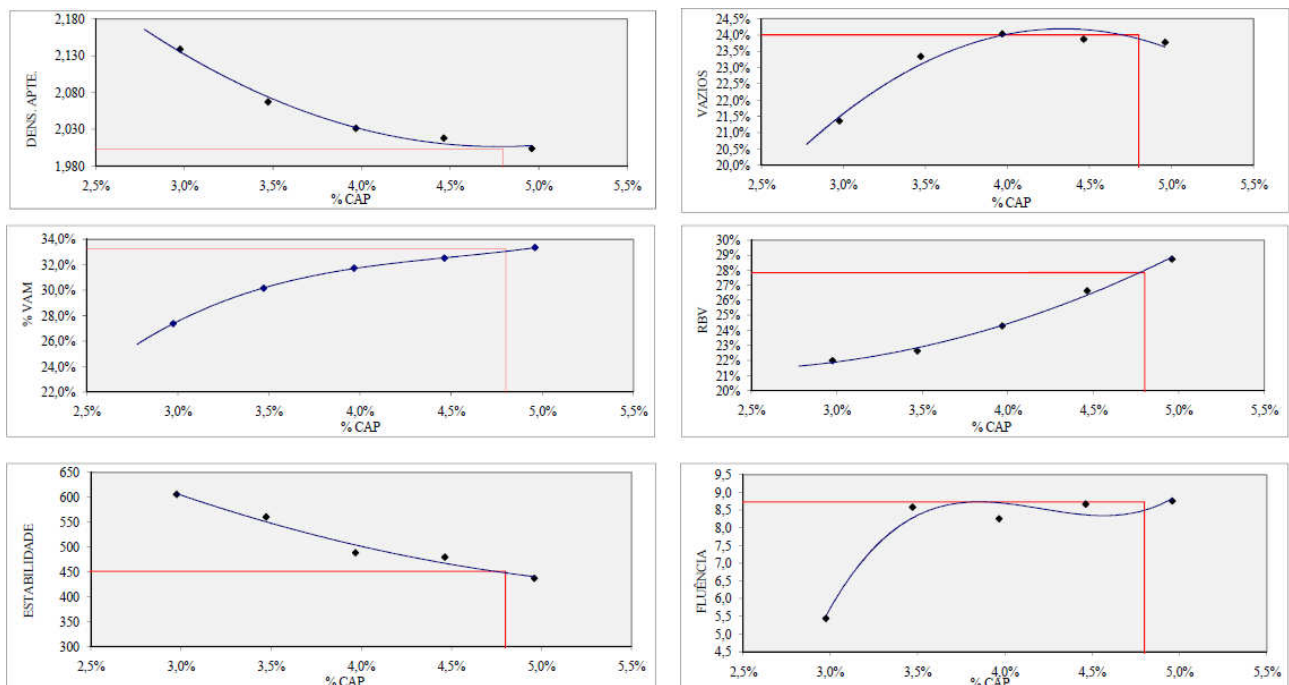


Figura 33 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C4

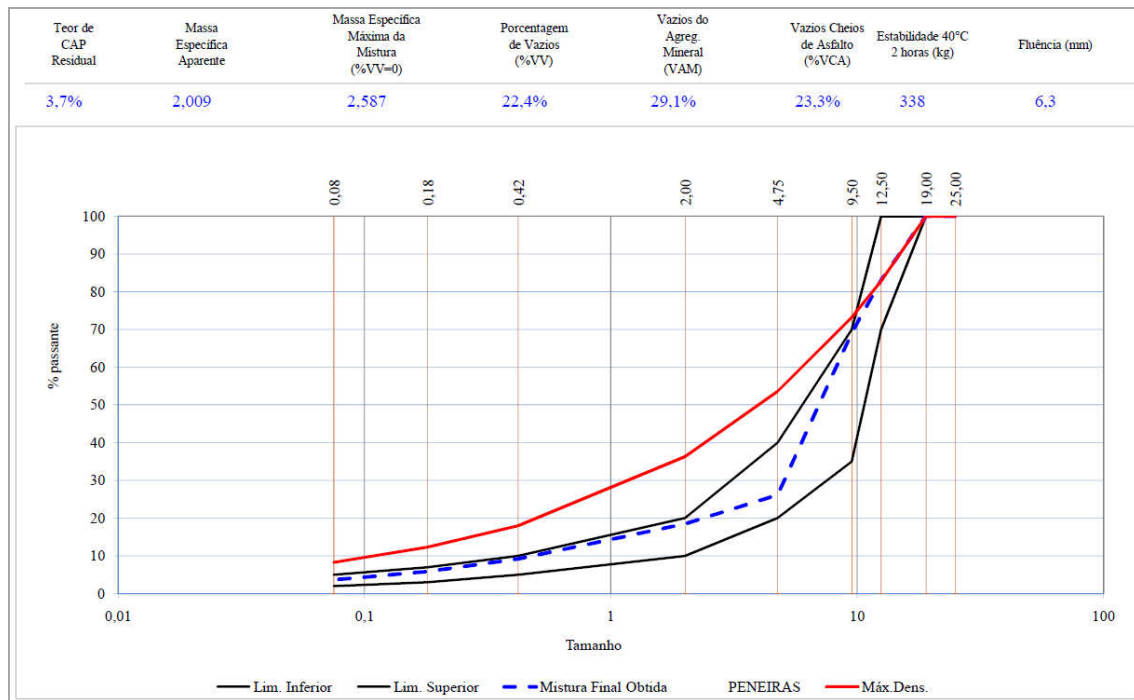
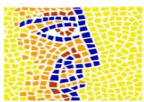


Figura 34 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D1

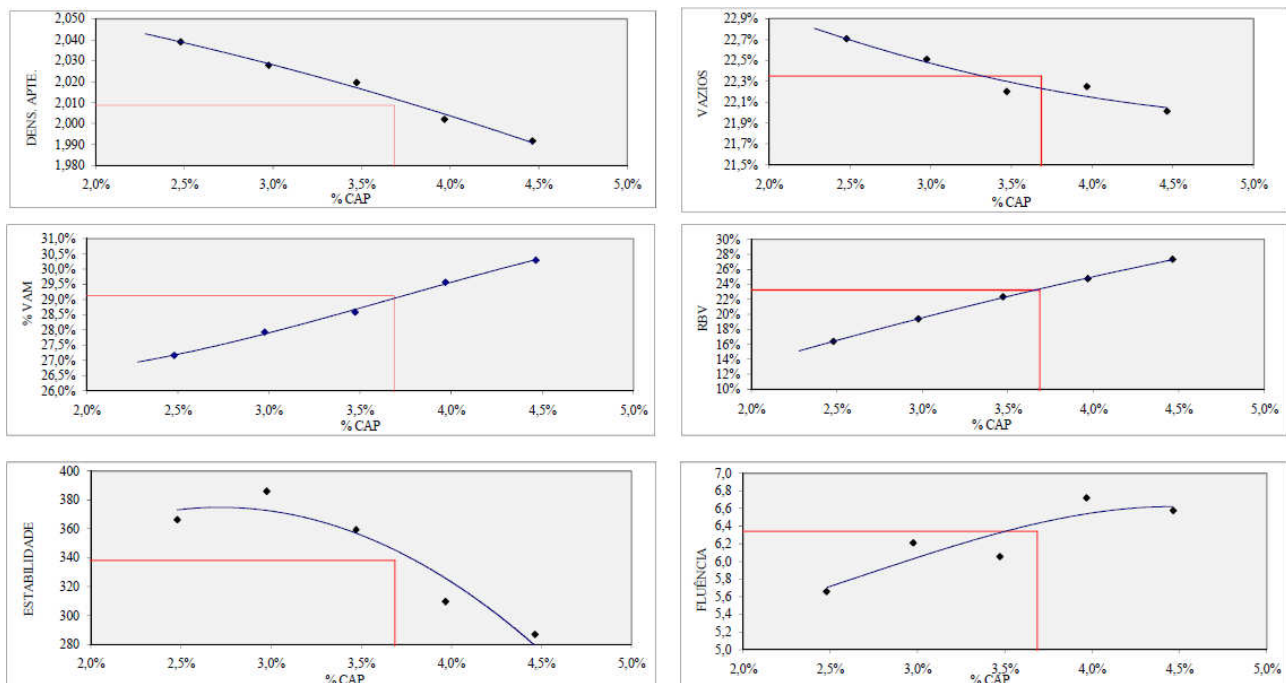


Figura 35 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D1

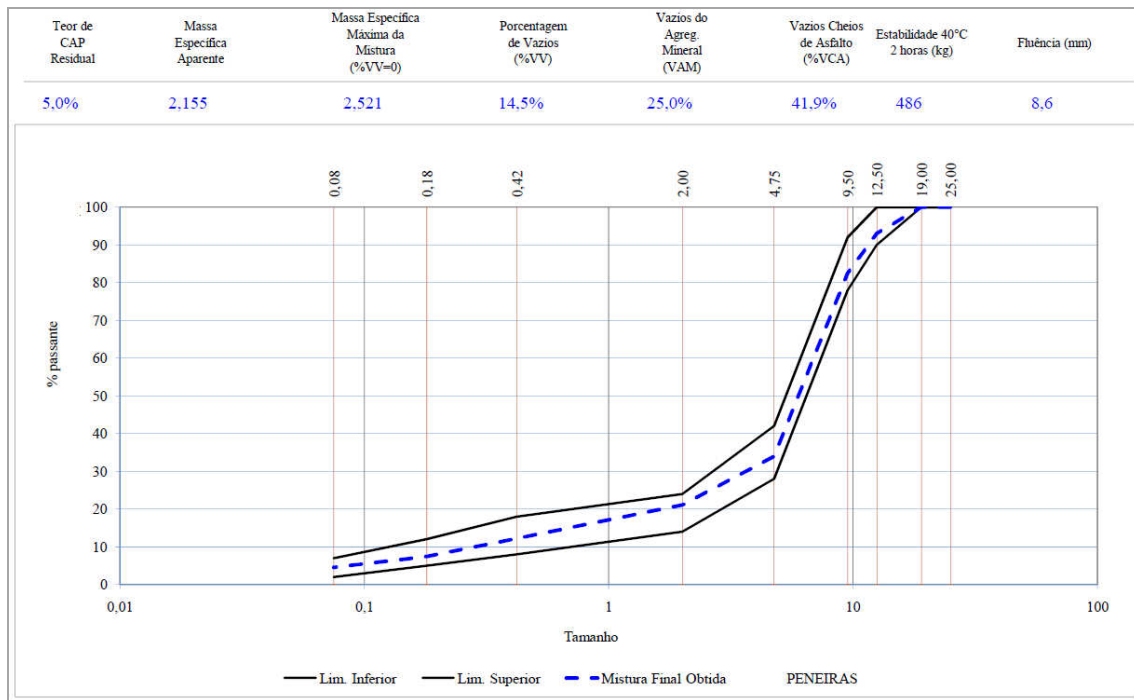
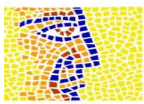


Figura 36 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura C2

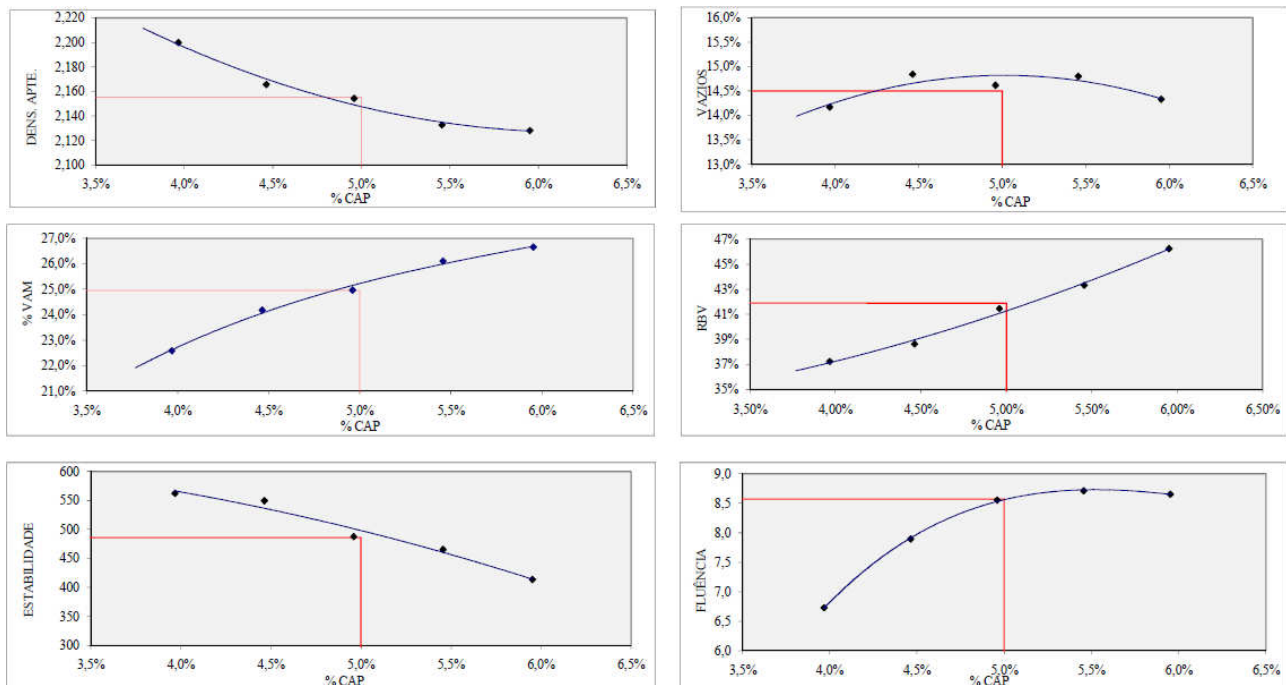


Figura 37 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura C2

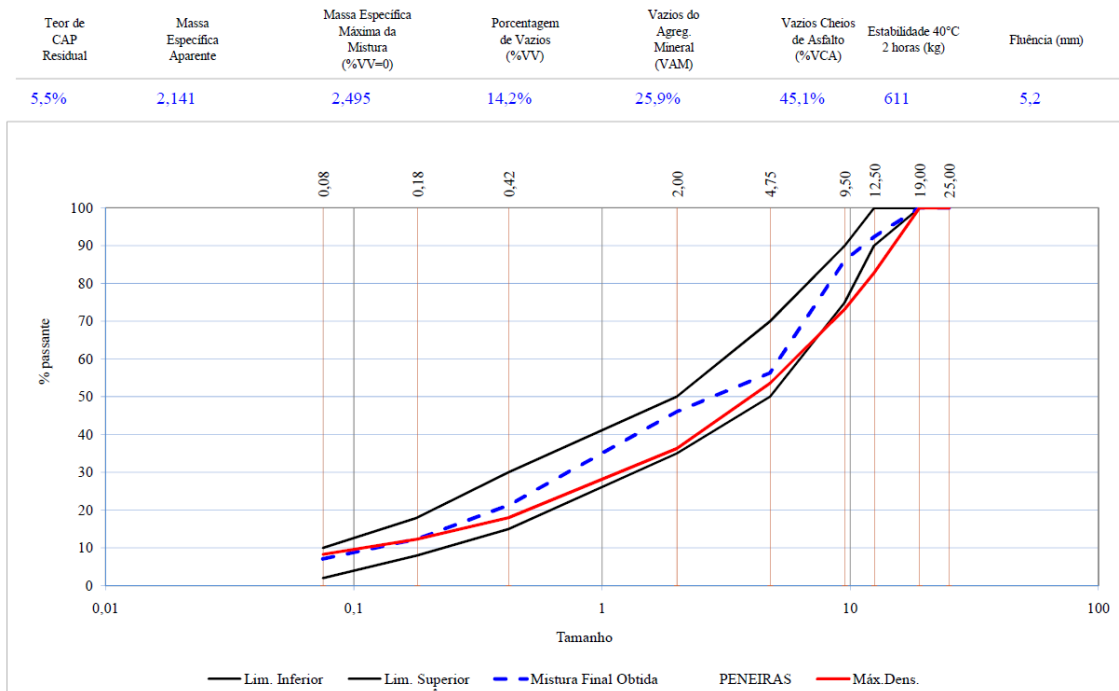
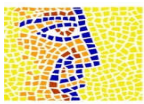


Figura 38 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D3

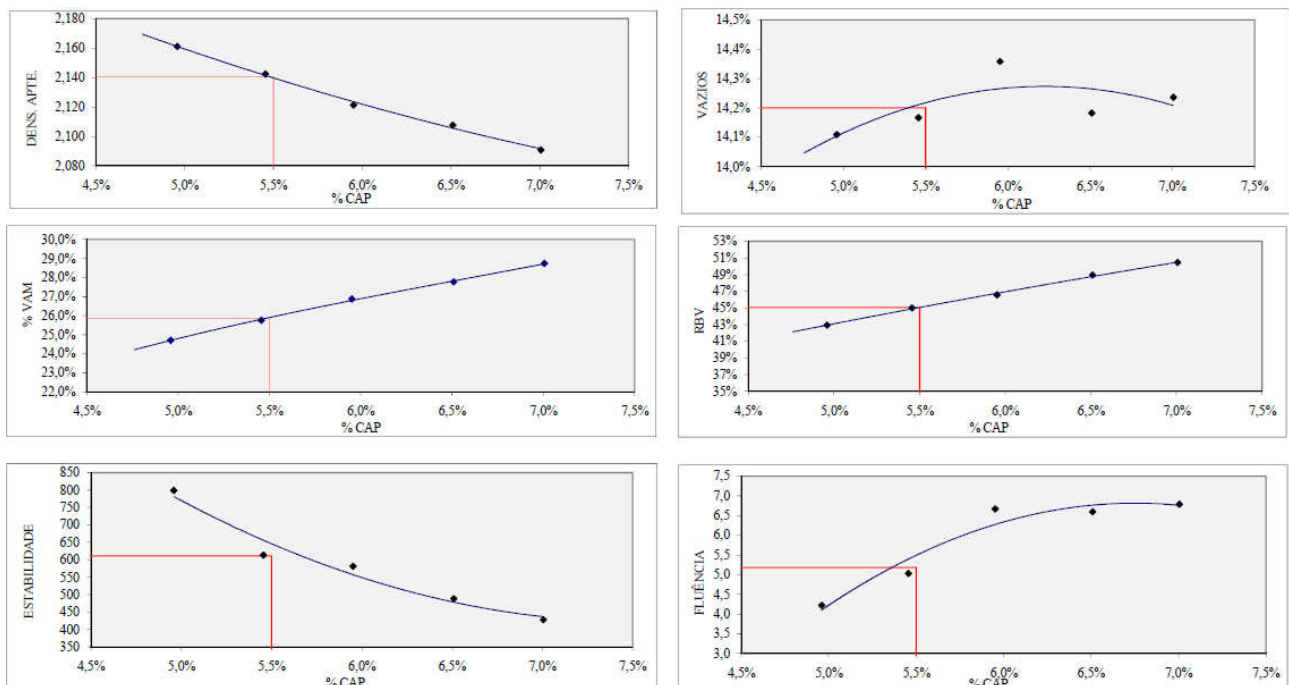


Figura 39 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D3

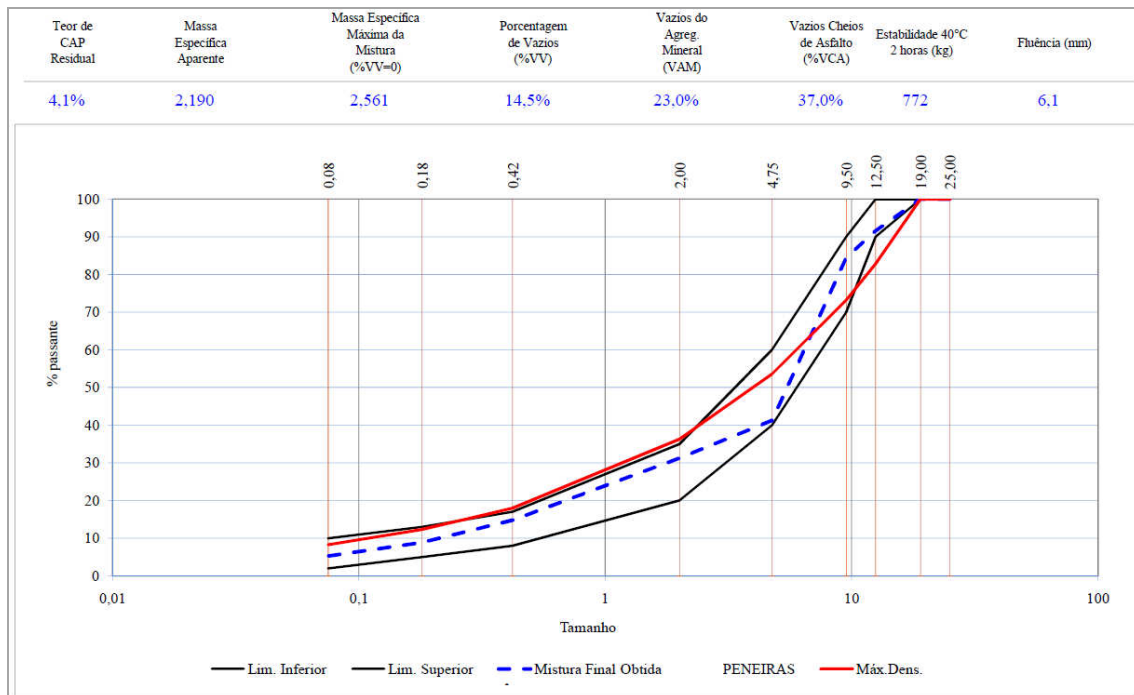
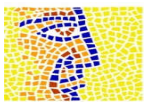


Figura 40 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D4

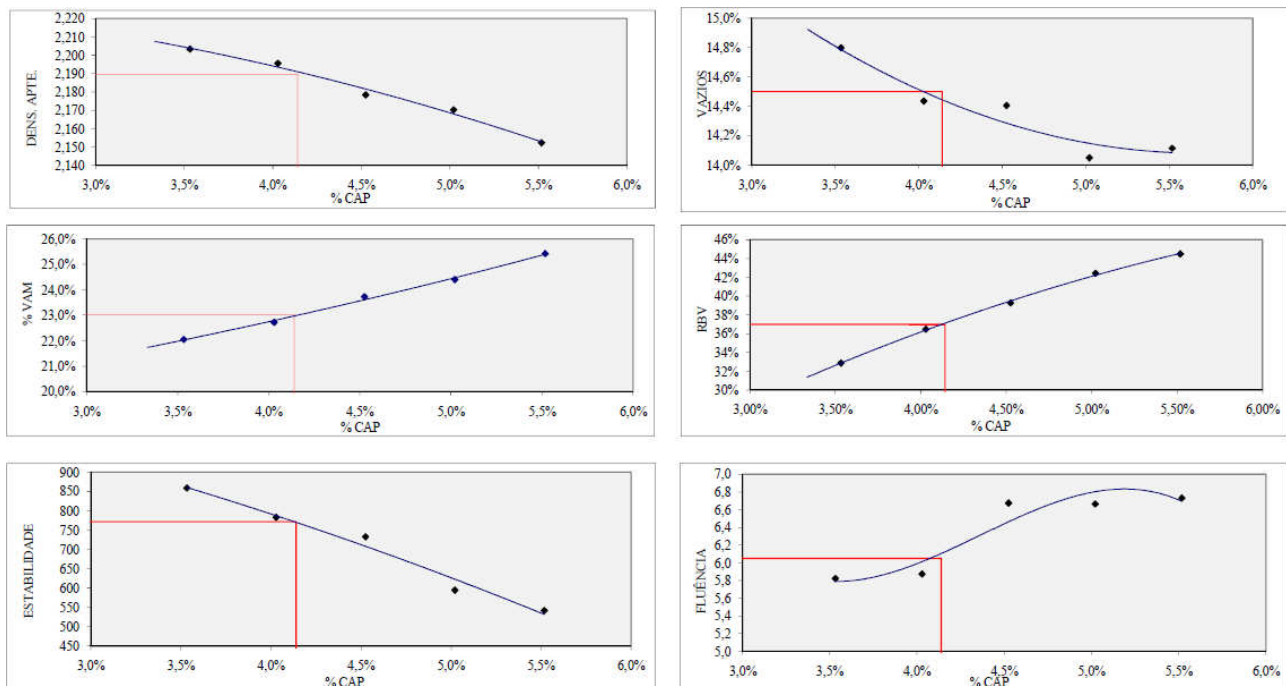


Figura 41 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D4

Deformação Permanente em Trilha de Roda

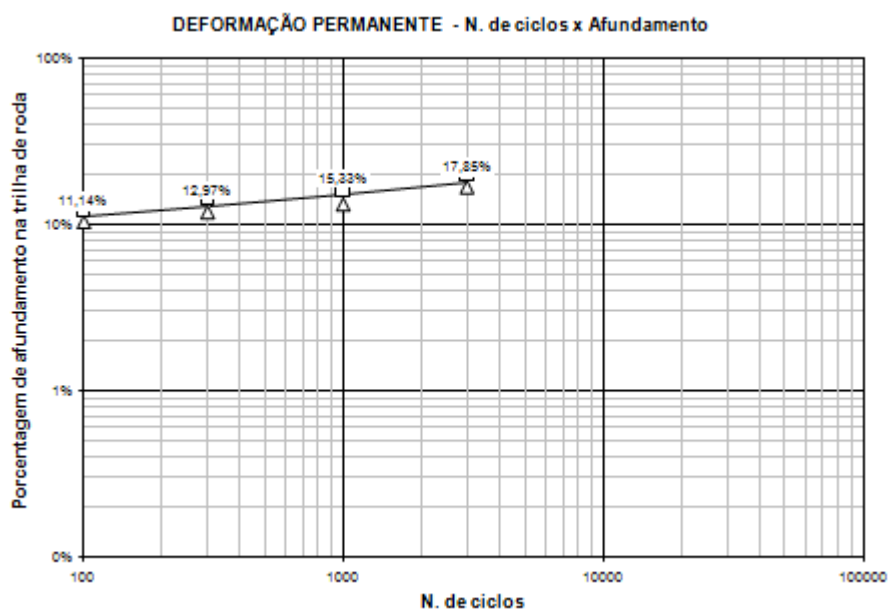


Figura 42 – Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A1 – 7 dias

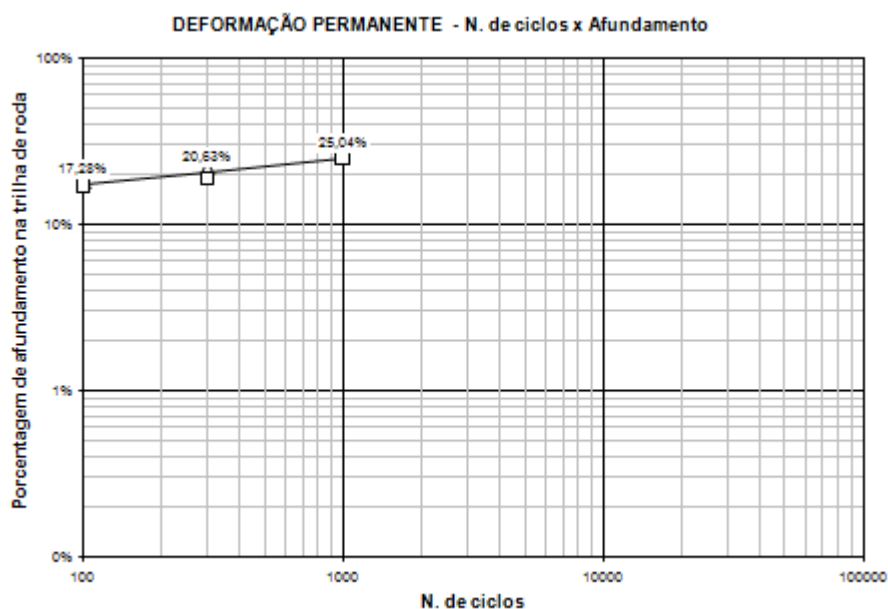


Figura 43 – Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A1 – 28 dias

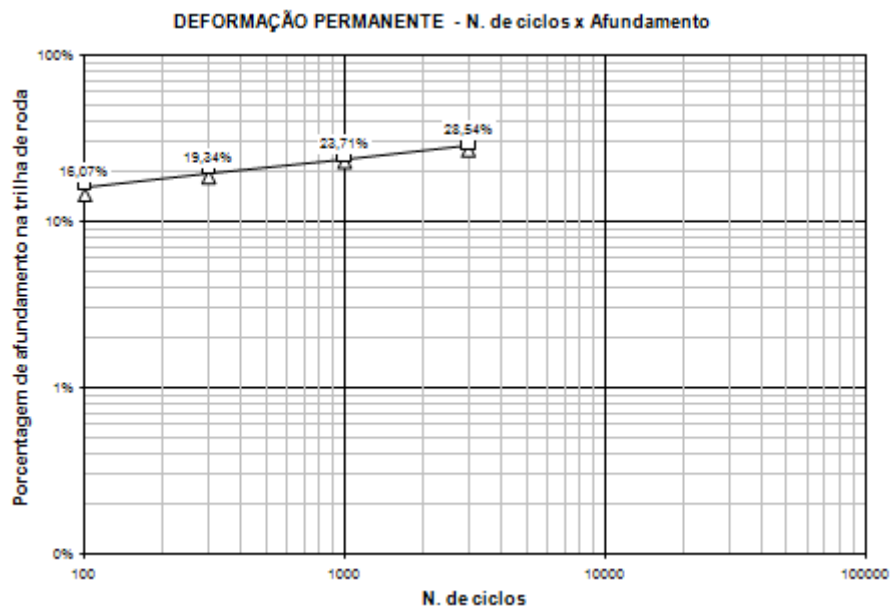
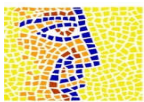


Figura 44 - - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A2 – 7 dias

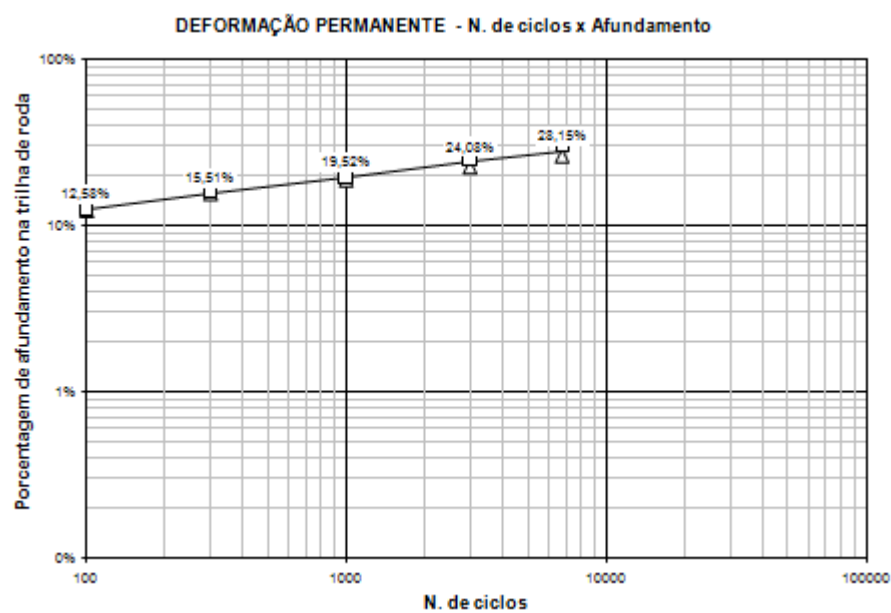


Figura 45 - - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A2 – 28 dias

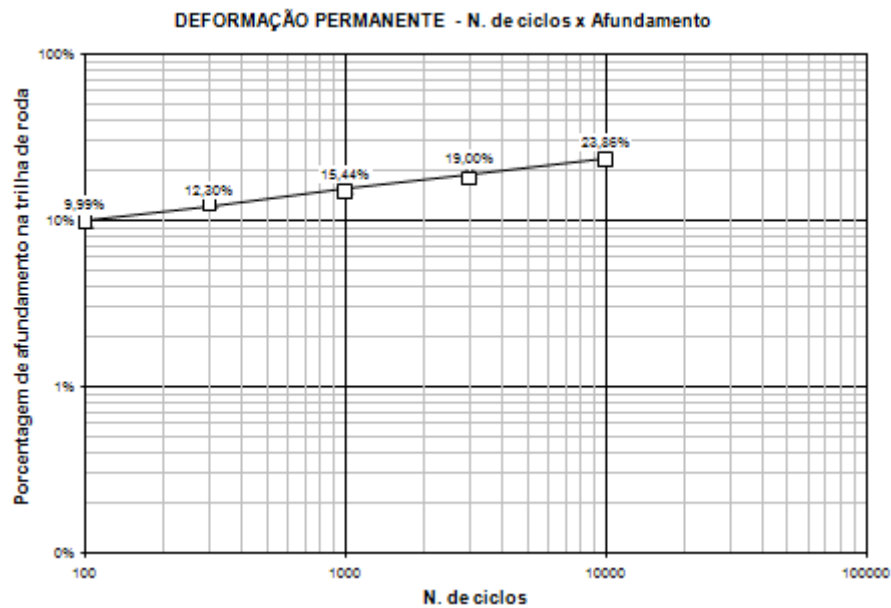
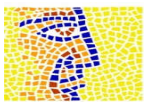


Figura 46 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A3 – 7 dias

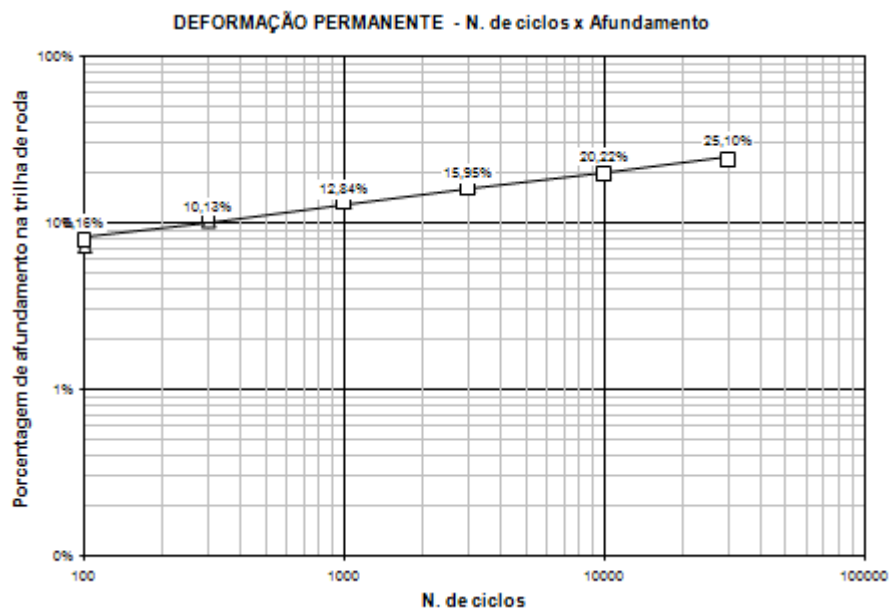


Figura 47 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A3 – 28 dias

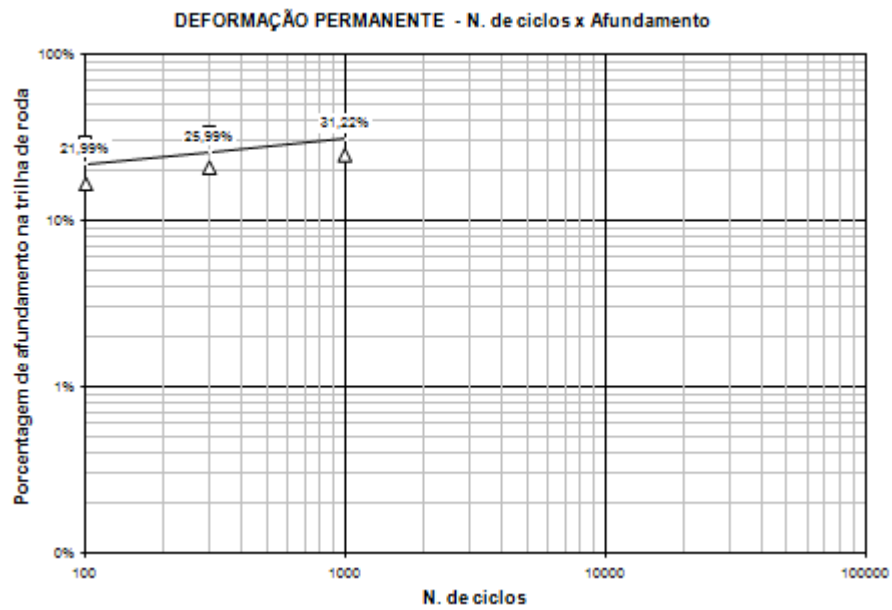
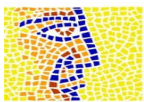


Figura 48 - Faixa granulométrica Semi -Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A4 – 7 dias

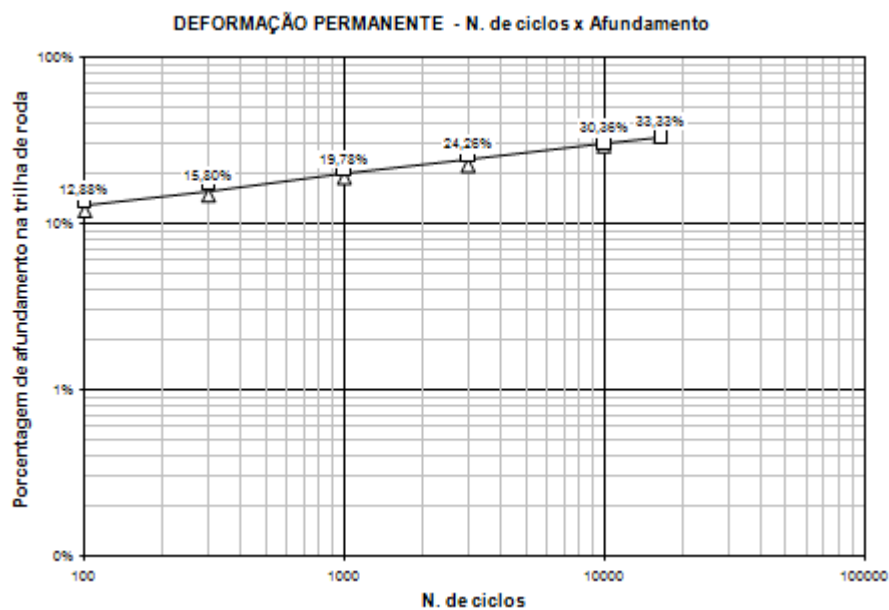


Figura 49 - Faixa granulométrica Semi -Densa – emulsão SBR – Agregado Basalto – Mistura A4 –28 dias

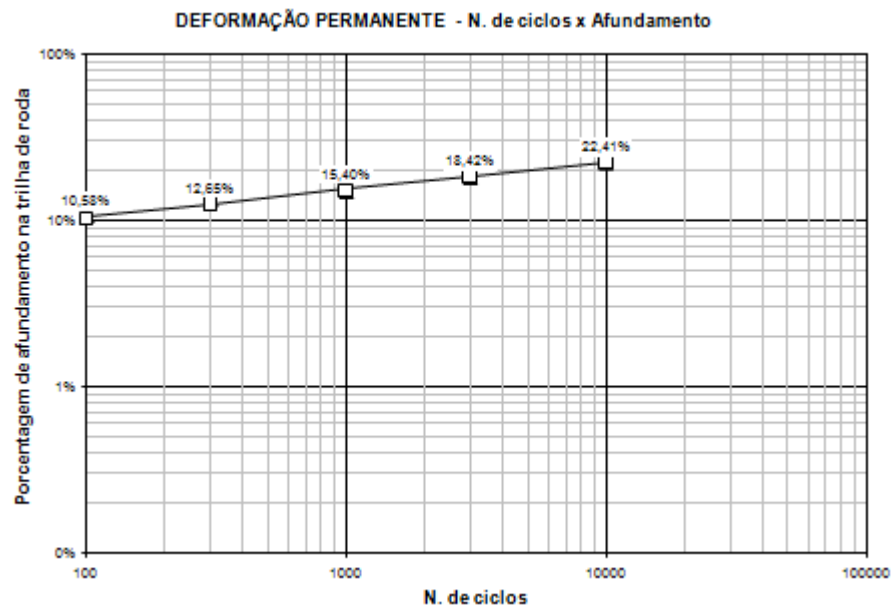
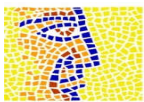


Figura 50 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B1 – 7 dias

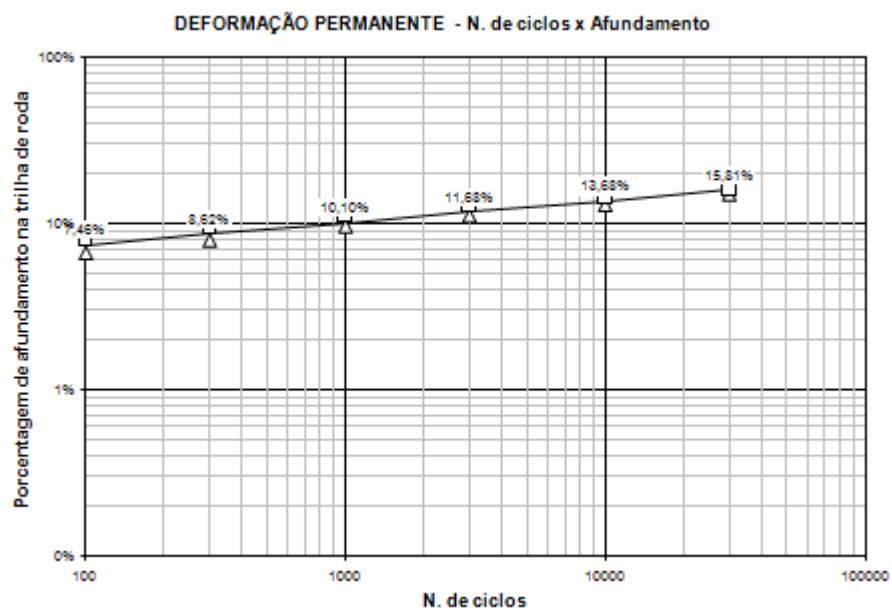


Figura 51 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B1 – 28 dias

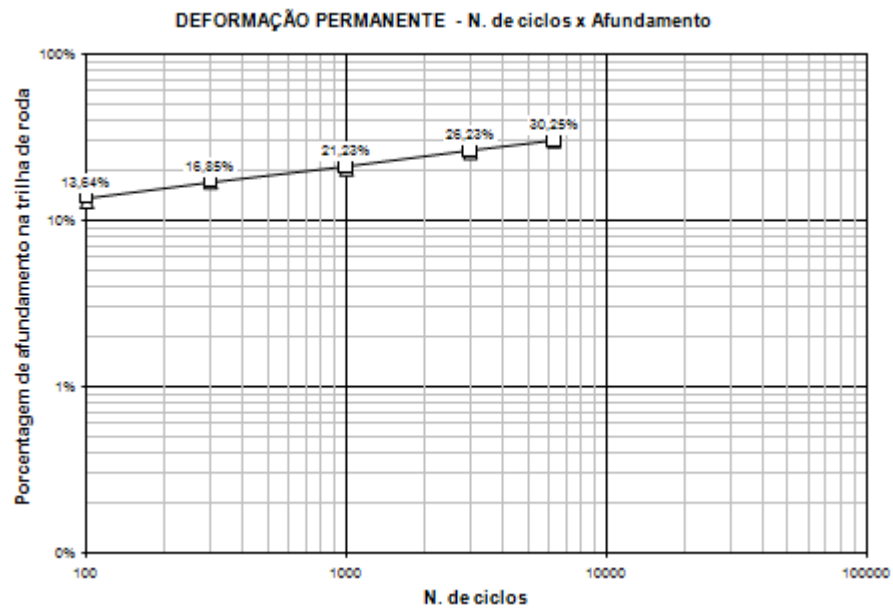
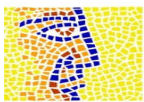


Figura 52 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B2 – 7 dias

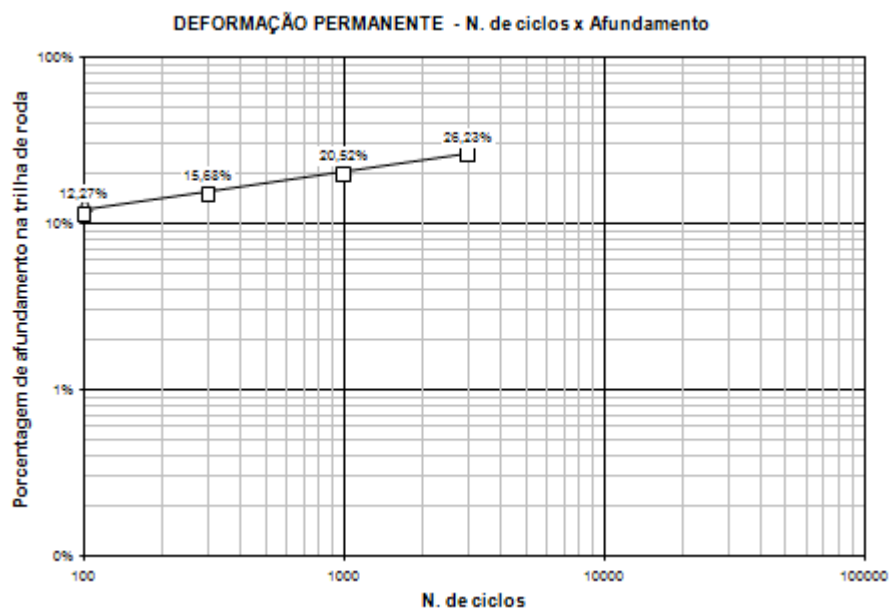


Figura 53 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B2 – 28 dias

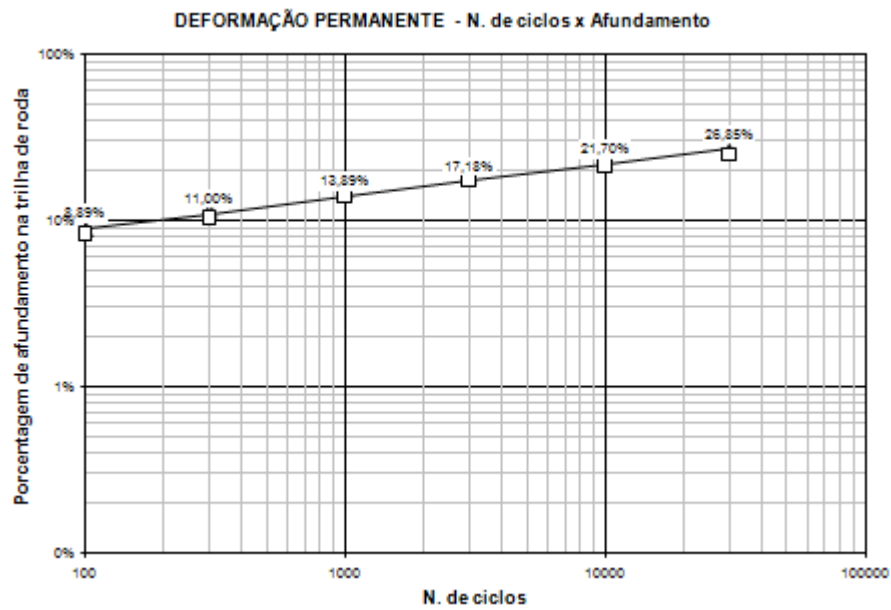
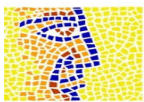


Figura 54 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B3 – 7 dias

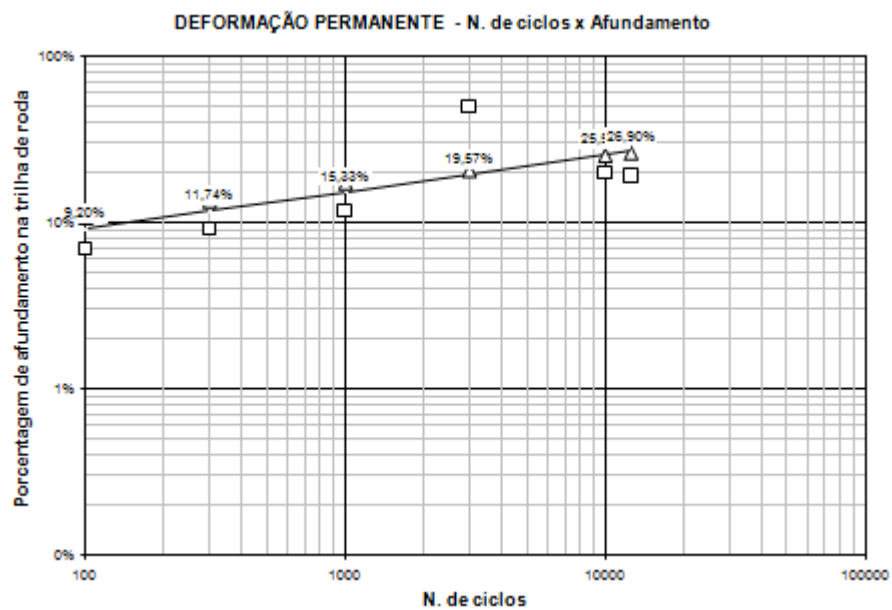


Figura 55 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B3 – 28 dias

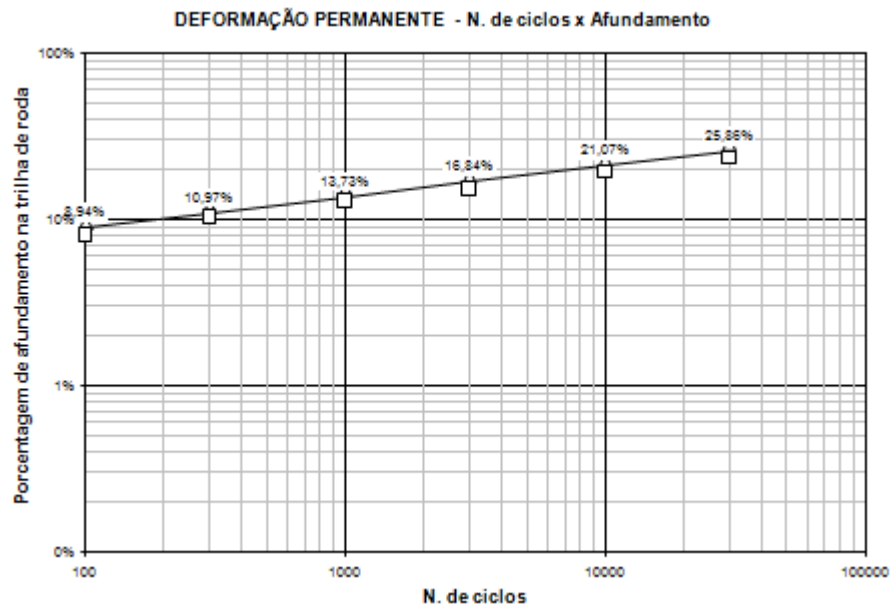


Figura 56 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B4 – 7 dias

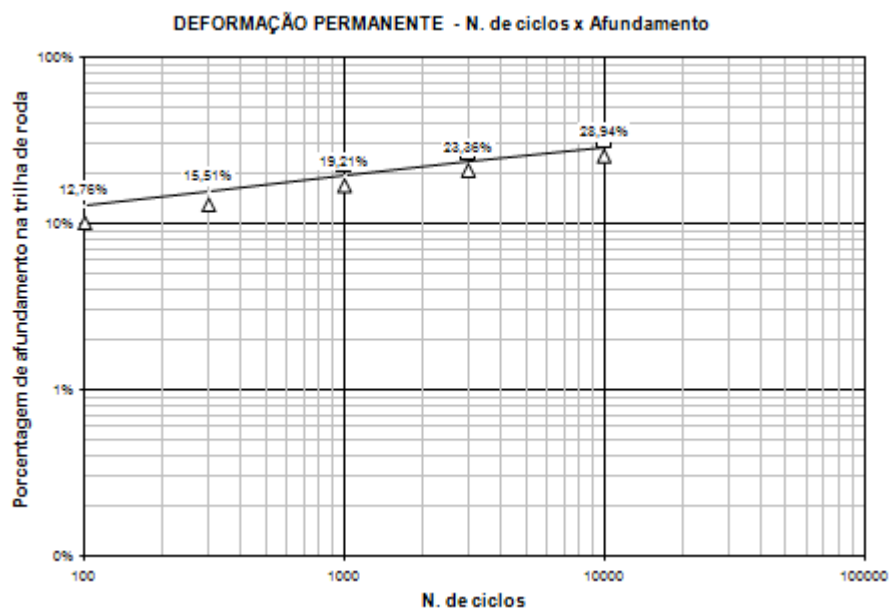


Figura 57 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBR – Agregado Granito – Mistura B4 – 28 dias

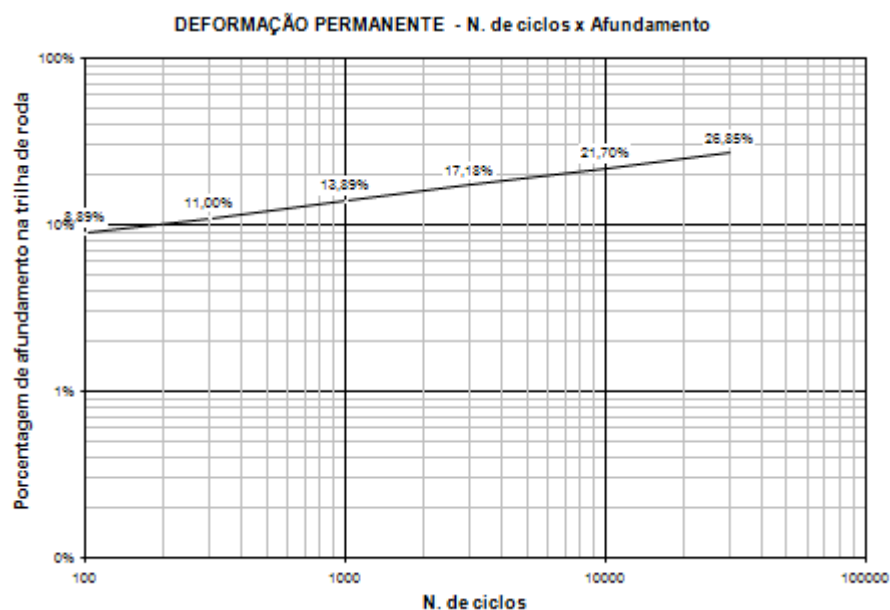


Figura 58 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C1 – 7 dias

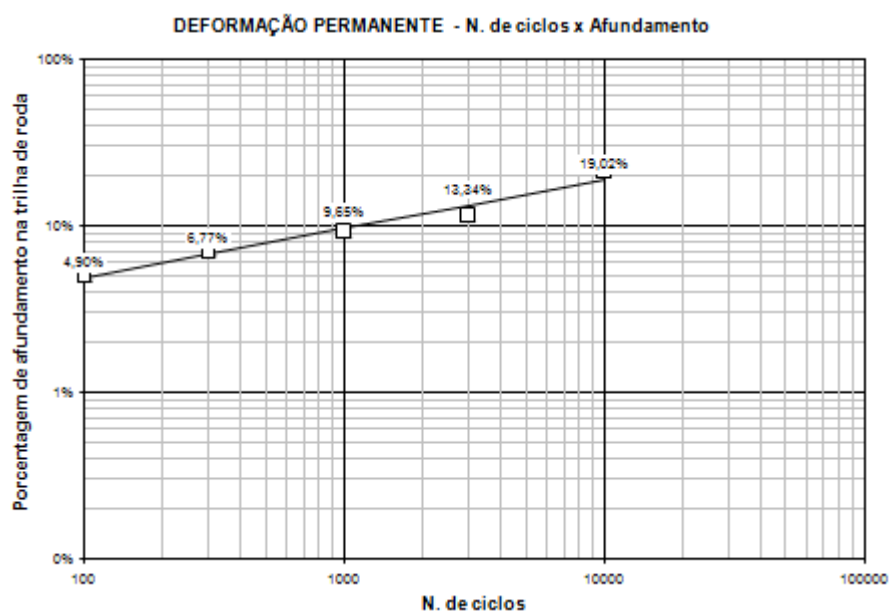


Figura 59 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C2 – 7 dias

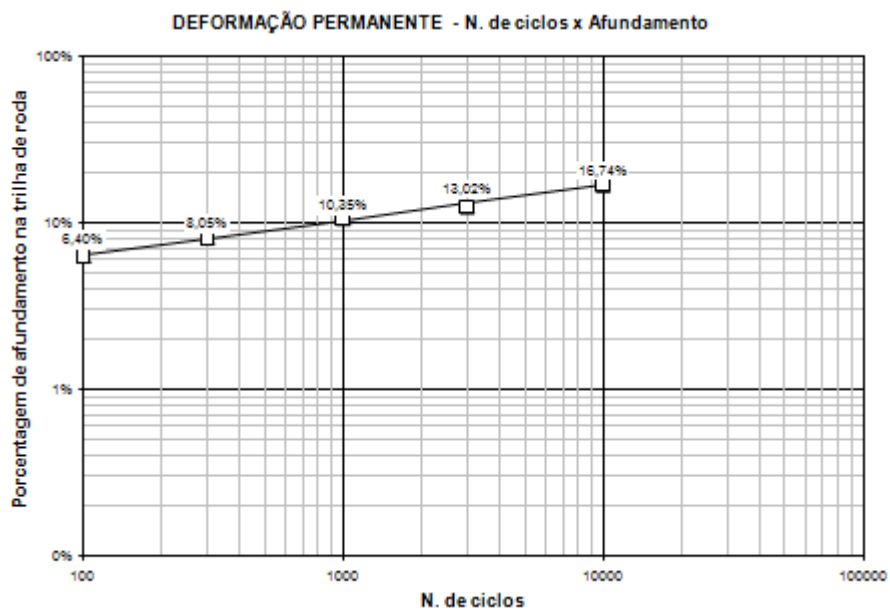


Figura 60 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C3 – 7 dias

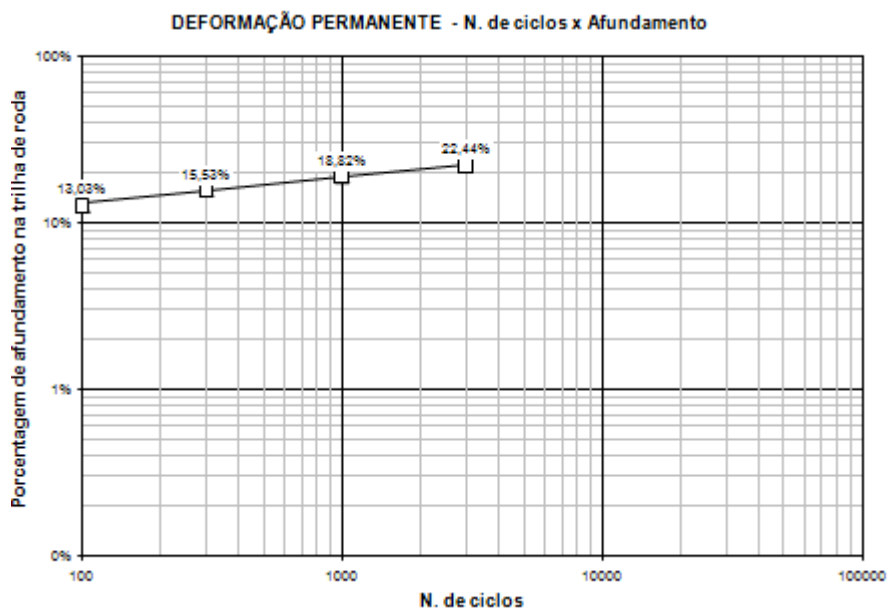


Figura 61 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Basalto – Mistura C4 – 7 dias

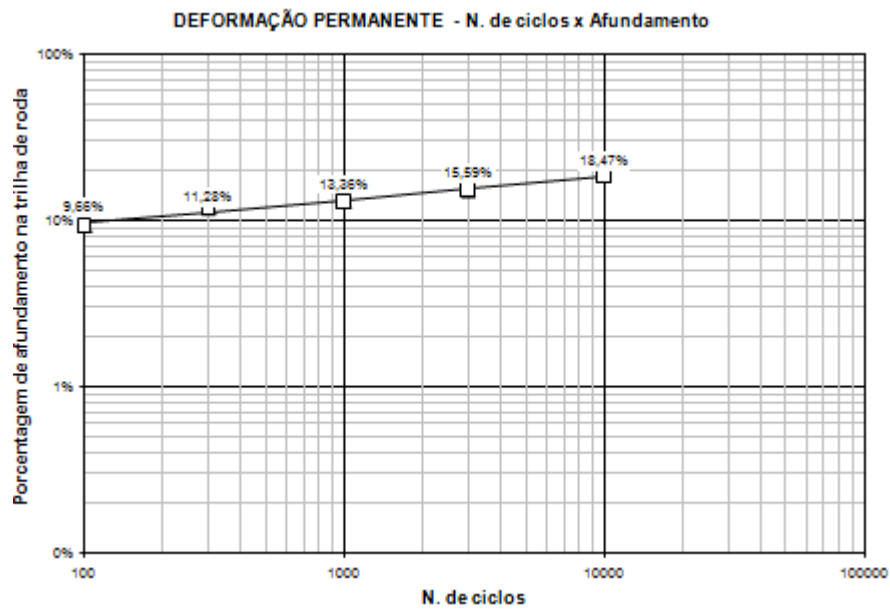
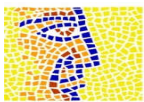


Figura 62 - Faixa granulométrica Aberta – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D1 – 7 dias

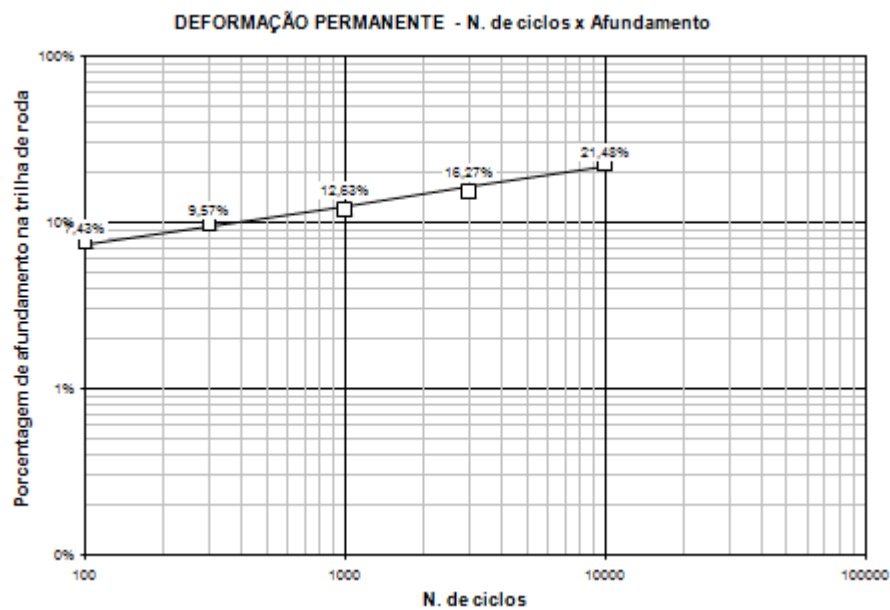


Figura 63 - Faixa granulométrica Gap – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura C2 – 7 dias

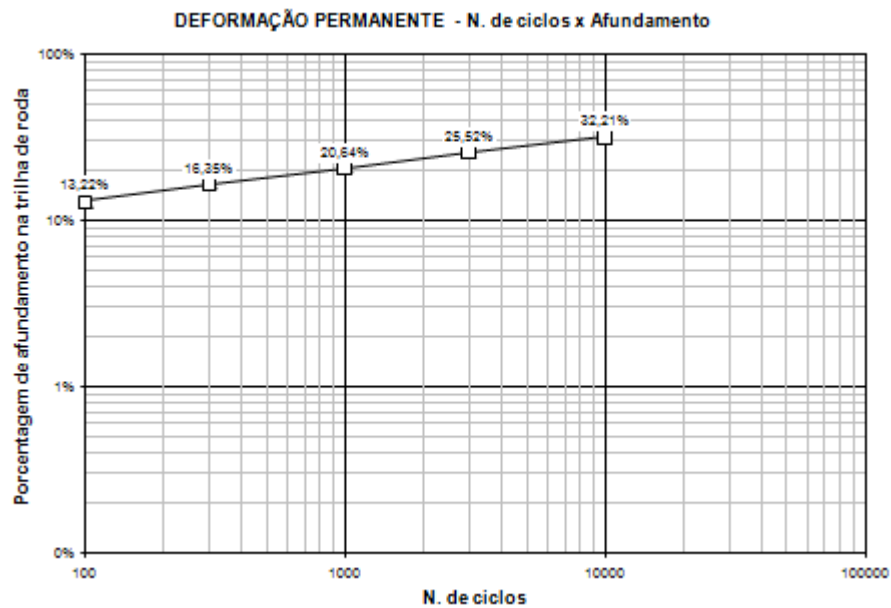
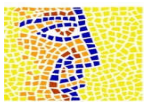


Figura 64 - Faixa granulométrica Densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D3 – 7 dias

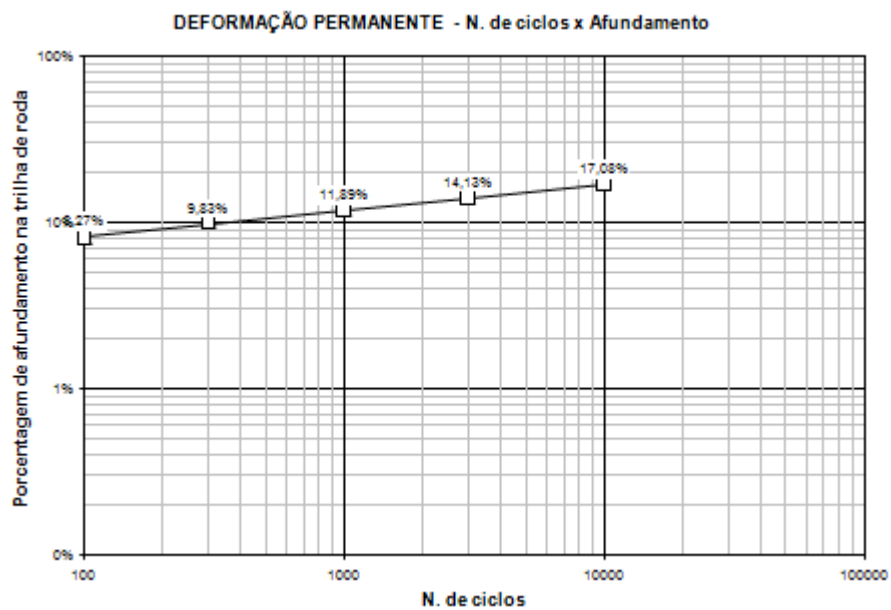


Figura 65 - Faixa granulométrica Semi densa – emulsão SBS – Agregado Granito – Mistura D4 – 7 dias