

# SUMÁRIO

---

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	i
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 - OBJETIVOS.....	4
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	6
<b>2 - LIGANTES ASFÁLTICOS</b> .....	9
2.1 - INTRODUÇÃO .....	9
2.2 - REOLOGIA DE LIGANTES ASFÁLTICOS.....	13
2.3 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS ASFÁLTICOS.....	21
2.3.1 - CLASSIFICAÇÃO POR PENETRAÇÃO .....	22
2.3.2 - CLASSIFICAÇÃO POR VISCOSIDADE .....	24
2.3.3 - CLASSIFICAÇÃO SUPERPAVE .....	26
2.4 - SELEÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS PELO MÉTODO SUPERPAVE .....	27
2.5 - USO DE MODIFICADORES EM LIGANTES ASFÁLTICOS .....	31

<b>3 - REUTILIZAÇÃO DE PNEUS .....</b>	<b>33</b>
3.1 - INTRODUÇÃO .....	33
3.2 - ALTERNATIVAS PARA REUTILIZAÇÃO DE PNEUS .....	38
3.2.1 - RECICLAGEM: FABRICAÇÃO DE NOVOS PNEUS E CÂMARAS DE AR .....	39
3.2.2 - GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA QUEIMA DE PNEUS .....	40
3.2.3 - DIVERSOS .....	41
3.2.4 - INCORPORAÇÃO EM MATERIAIS ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTAÇÃO .....	41
3.3 - REAPROVEITAMENTO DE PNEUS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO .....	42
3.4 - BREVE HISTÓRICO DA ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS MOÍDA EM MATERIAIS ASFÁLTICOS - PROCESSO ÚMIDO .....	43
3.4.1 - DESENVOLVIMENTO DO ASFALTO-BORRACHA.....	44
3.4.2 - VANTAGENS PREVISTAS COM A UTILIZAÇÃO DO LIGANTE ASFALTO-BORRACHA .....	49
3.4.3 - APLICAÇÃO DO LIGANTES ASFALTO-BORRACHA.....	50
a) Selante de trincas e juntas ( <i>asphalt-rubber crack/ joint                 sealant</i> ) .....	51
b) SAM ( <i>Stress Absorbing Membrane</i> ).....	52
c) SAMI ( <i>Stress Absorbing Membrane Interlayer</i> ).....	53
d) Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) .....	54
 <b>4 - PRODUÇÃO DO LIGANTE ASFALTO-BORRACHA - FATORES INTERVENIENTES E ESPECIFICAÇÕES .....</b>	 <b>57</b>
4.1 - INTRODUÇÃO .....	57
4.2 - MATERIAIS .....	64
4.2.1 - BORRACHA.....	65
a) Tipo de borracha.....	65
b) Tamanho das partículas de borracha .....	67
c) Teor de borracha.....	69

4.2.2 - LIGANTE ASFÁLTICO .....	70
4.2.3 - DILUENTE.....	70
4.3 - TEMPERATURA E TEMPO DE REAÇÃO .....	71
4.4 - EQUIPAMENTO .....	73
4.5 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ASFALTO-BORRACHA.....	74
<b>5 - PROGRAMAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO LABORATORIAL .....</b>	<b>78</b>
5.1 - INTRODUÇÃO .....	78
5.2 - PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS .....	79
5.3 - VARIÁVEIS INDEPENDENTES - FATORES E NÍVEIS .....	81
5.3.1 - TIPO DE BORRACHA.....	81
5.3.2 - TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE BORRACHA.....	81
5.3.3 - TEOR DE BORRACHA.....	82
5.3.4 - TIPO E TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO .....	82
5.3.5 - TEMPERATURA E TEMPO DE REAÇÃO.....	82
5.3.6 - DILUENTE.....	84
5.4 - PROGRAMAÇÃO FATORIAL DO EXPERIMENTO .....	84
5.4.1 - MATRIZ FATORIAL INICIAL .....	84
5.4.2 - MATRIZ FATORIAL DEFINITIVA .....	87
5.5 - VARIÁVEIS DEPENDENTES .....	89
5.5.1 - ENSAIOS TRADICIONAIS .....	89
a) Penetração .....	90
b) Ponto de Amolecimento.....	91
c) Ponto de Fulgor .....	92
d) Viscosidade Saybolt-Furol.....	93
e) Ductilidade .....	94
5.5.2 - ENSAIOS SUPERPAVE.....	94
a) Viscosidade Aparente (Brookfield) .....	96
b) Cisalhamento Dinâmico.....	98
c) Envelhecimento de Curto Prazo .....	101

d) Envelhecimento de Longo Prazo .....	103
e) Rigidez à Fluência na Flexão.....	104
<b>6 - RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>107</b>
6.1 - ENSAIOS CONVENCIONAIS.....	107
6.1.1 - PENETRAÇÃO.....	107
6.1.2 - PONTO DE AMOLECIMENTO.....	109
6.1.3 - PONTO DE FULGOR.....	110
6.2 - RESULTADOS DOS ENSAIOS SUPERPAVE .....	112
6.2.1 - VISCOSIDADE APARENTE (BROOKFIELD) .....	112
6.2.2 - MÓDULO DE CISALHAMENTO DINÂMICO DO LIGANTE VIRGEM .....	115
6.2.3 - MÓDULO DE CISALHAMENTO DINÂMICO DO LIGANTE APÓS ENVELHECIMENTO DE CURTO PRAZO .....	118
6.2.4 - MÓDULO DE CISALHAMENTO DINÂMICO DO LIGANTE APÓS ENVELHECIMENTO DE LONGO PRAZO.....	121
6.2.5 - RIGIDEZ À FLUÊNCIA NA FLEXÃO .....	124
6.3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA - MODELOS ESTATÍSTICOS.....	126
6.3.1 - TESTES DE SIGNIFICÂNCIA.....	126
6.3.2 - CÁLCULO DAS VARIÂNCIAS.....	127
a) Soma de Quadrados Total .....	127
b) Fatores A, B e C.....	127
c) Interação entre os Fatores A, B e C .....	128
d) Réplica.....	130
6.3.3 - ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	138
6.4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	143
6.4.1 - EFEITOS DOS PARÂMETROS NAS PROPRIEDADES DOS ASFALTO-BORRACHA.....	143
a) Ponto de Amolecimento .....	143
b) Ponto de Fulgor .....	145

c) Penetração.....	146
d) Viscosidade Brookfield.....	149
e) Cisalhamento Dinâmico antes do Envelhecimento .....	153
f) Cisalhamento Dinâmico após Envelhecimento de Curto Prazo .....	157
g) Cisalhamento Dinâmico após Envelhecimento de Longo Prazo .....	159
h) Rigidez à Fluência na Flexão .....	165
<b>7 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>169</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>186</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>195</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>206</b>
<b>ANEXO E.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO F.....</b>	<b>245</b>
<b>ANEXO G.....</b>	<b>250</b>