

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

ESTUDO ECONÔMICO COMPARATIVO
ENTRE TIPOS DE PAVIMENTOS

Autor: Silvio Rodrigues Filho

Orientador: Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Transportes.

Campinas, SP

14 de dezembro de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R618e Rodrigues Filho, Silvio
 Estudo econômico comparativo entre tipos de
 pavimentos / Silvio Rodrigues Filho.--Campinas, SP:
 [s.n.], 2006.

 Orientador: Cássio Eduardo Lima de Paiva
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo.

 1. Pavimentos. 2. Custo do ciclo de vida. 3. Analise
 do ponto de equilíbrio. I. Paiva, Cássio Eduardo Lima
 de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
 de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III.
 Título.

Titulo em Inglês: Economical comparative study among types of pavements

Palavras-chave em Inglês: Pavement, Economics similitude, Break-even-point,
Life cycle cost analysis

Área de concentração: Transportes

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: João Virgílio Merighi e Liedi Bariani Bernucci

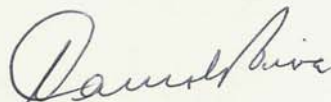
Data da defesa: 14/12/2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

ESTUDO ECONÔMICO COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE PAVIMENTOS

Silvio Rodrigues Filho

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva
Presidente e Orientador/UNICAMP**



**Prof. Dr. João Virgílio Merighi
UNICAMP**



**Prof. Dra. Liedi Bariani Bernucci
EPUSP**

Campinas, 14 de dezembro de 2006

DEDICATÓRIA

*A minha esposa Talita e a meus filhos
Marcos Vinícius, Luís Felipe e Priscila
Sharon pelo apoio.*

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva, pela oportunidade, orientação, amizade, respeito e admiração adquiridos ao longo desse trabalho.
- Ao meu amigo Abner Saraiva Grangeiro, sua esposa Pérsida e filhos, pelo carinho ao longo desses anos, apoio, sempre presente, nos momentos que passamos em São Paulo.
- Ao Prof.Dr. João Virgílio Merighi, sua esposa Profa. Dra. Rita Moura Fortes e ao Prof. Dr. Samuel Hanthequeste Cardoso, pela amizade que tem se perpetuado ao longo dos anos, como amigos do dia-a-dia e parceiros da ABPv.
- Ao meu irmão NETO e sua esposa BETH pelo apoio, carinho, consideração e, incentivo em toda minha vida acadêmica, sem os quais, não seria possível essa dissertação.
- À “Glórinha” da ABPv e sua equipe, bem como toda a Diretoria da ABPv e seus associados pelo apoio em todos os momentos da realização desse trabalho.
- Aos colaboradores, como os engenheiros, FABRÍCIO, SALATHÉ e, o “grande ATAHUALPA”, pela amizade e apoio.
- Aos amigos da UNICAMP, Ricardo Jefferson, Balao, Thayse, etc. e em especial ao Eng. Paulo Aguiar e à Paula da secretaria e sua equipe, pela amizade que nasceu desse convívio.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	ix
	LISTA DE TABELAS.....	xiv
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xxi
	LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiii
	RESUMO.....	xxiv
	ABSTRACT.....	xxv
1.	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	Estradas e Economia.....	01
1.2	Motivação e Objetivo do Estudo.....	03
1.3	Estrutura do Trabalho.....	04
2.	PAVIMENTOS ESTUDADOS E RESPECTIVOS DESEMPENHOS.....	06
2.1	Pavimentos Flexíveis.....	06
2.2	Pavimentos Rígidos.....	07
2.3	Desempenho de Pavimentos.....	09
3.	ESTUDOS ECONÔMICOS EM PAVIMENTOS.....	23
3.1	A experiência adquirida.....	23
3.2	O Valor Presente Líquido como parâmetro de avaliação econômica.....	26
4.	AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE TIPOS DE	

PAVIMENTOS NOVOS	30
4.1 Descrição do Estudo Desenvolvido.....	31
4.2 Avaliação econômica dos preços unitários.....	31
4.2.1 Série de Preços Unitários.....	31
4.2.2 Análise crítica de diferenças.....	33
4.2.3. Avaliação dos preços unitários e identificação do estudo de equilíbrio econômico..	37
4.3. Avaliação Econômica em função da intensidade de tráfego e da qualidade do subleito.....	40
4.3.1 Dimensionamento do pavimento flexível e rígido.....	42
4.3.2. Preço unitário da estrutura do pavimento flexível e rígido (US\$/m ²).....	44
4.3.2.1. Relações percentuais de preços Pavimento Rígido/Flexível.....	45
4.3.3. Preço unitário (US\$/m ²) majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa).....	45
4.3.3.1. Relações percentuais de preços pavimento rígido e flexível majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa).....	46
4.3.4. Preço unitário da estrutura do pavimento (US\$/m ²) dividindo os preços dos pavimentos flexíveis por 10 anos e os preços dos pavimentos rígidos por 20 anos..	46
4.3.5. Preço unitário (US\$/m ²) majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa) , dividindo os preços dos pavimentos flexíveis por 10 anos e os preços dos pavimentos rígidos por 20 anos.....	47
4.4. Participação da capa ou da placa no preço total para cada faixa de tráfego.....	48
4.5. Período de operação do pavimento.....	51
4.5.1. Estudos desenvolvidos.....	51
4.6. Análise comparativa.....	77
4.6.1. Horizonte até 20 anos – Pavimento Flexível/Rígido.....	77
4.7. Análises e comparações finais.....	81
5. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE TIPOS DE PAVIMENTOS EM OPERAÇÃO PARA VÁRIOS HORIZONTES.....	84
5.1 Considerações iniciais.....	84
5.2 Dimensionamento das estruturas de pavimento	92
5.3 Cenários de intervenções.....	97

5.3.1	Pavimento Flexível	97
5.3.2	Pavimento Rígido.....	99
5.4	Estudos econômicos do estudo de caso.....	101
5.4.1	Custos dos cenários envolvidos.....	101
5.4.1.1	Intervenção em Pavimento Flexível.....	101
5.4.1.2.	Intervenção em Pavimento Rígido.....	102
5.4.2	Custo do Pavimento Flexível para 10 anos de vida útil.....	103
5.4.3	Custo do Pavimento Rígido para 10 anos de vida útil.....	107
5.4.4.	Custo dos Pavimentos para 40 anos de vida útil.....	111
5.4.4.1	Pavimento Flexível.....	111
5.4.4.2.	Pavimento Rígido.....	114
5.4.5.	Equações de custo do Pavimento.....	118
5.4.5.1.	Equações de Pavimento Flexível para 10 anos de vida útil.....	120
5.4.5.2.	Equações de Pavimento Rígido para 10 anos de vida útil.....	125
5.4.5.3.	Equações de Pavimento Flexível para vida útil de 40 anos	130
5.4.5.4.	Equações de Pavimento Rígido para vida útil de 40 anos.....	135
5.4.6.	Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido.....	140
5.4.6.1.	Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido ao longo de 10 anos de vida útil.....	141
5.4.6.2.	Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido ao longo de 40 anos de vida útil.....	146
5.5.	Avaliações sobre os estudos econômicos dos pavimentos em operação.....	151
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	154
6.1	Conclusões.....	154
6.2	Sugestões para futuras pesquisas.....	160
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
	APÊNDICES.....	170
	APENDICE A - COMPOSIÇÕES DE CUSTOS.....	171

LISTA DE FIGURAS

Nº	Figura	Pg
2.1	Estrutura de Pavimento Flexível típica.....	06
2.2	Estrutura de Pavimento Rígido típica.....	08
2.3	Distribuição de esforços em Pavimentos Flexíveis e Rígidos.....	10
2.4	Política de intervenção desenvolvida por PEDRAZZI.....	12
2.5	Política de intervenção desenvolvida por GARNETT NETO.....	18
4.1	Série histórica de preços unitários do asfalto e do cimento.....	32
4.2	Série histórica do US\$/toncim e do US\$/tonCAP.....	36
4.3a/b	Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível (método de SOUZA) e Rígido (método da PCA) para dadas condições de tráfego e capacidade de suporte do subleito.....	39
4.4a/b	Relação entre o incremento no custo/kg do material de maior peso e seu reflexo no custo/m ³ do revestimento, tendo como referência a composição de custo do DER/SP.....	44
4.5a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese A1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸	53
4.6a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese A1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸	54

4.7a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese B1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	55
4.8a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese B1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	56
4.9a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese C1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	58
4.10a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese C1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	59
4.11a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese D1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	60
4.12a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese D1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese A1.....	61
4.13a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese M1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸	63
4.14a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese M1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸	64
4.15a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese N1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	65
4.16a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese N1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	66
4.17a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese O1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	68
4.18a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese O1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	69
4.19a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese P1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	71

4.20a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese P1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	72
4.21a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese Q1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	73
4.22a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese Q1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	74
4.23a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para a hipótese R1, para valores extremos de Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	76
4.24a/b	custo total/m ² (US\$) para a hipótese R1, Nf=10 ⁵ e Nf=10 ⁸ , em comparação com a hipótese M1.....	77
4.25a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para as diversas hipóteses estudadas – Pavimento Flexível.....	78
4.26a/b	Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m ² (US\$) para as diversas hipóteses estudadas – Pavimento Rígido.....	79
4.27a/b	custo total/m ² (US\$) para a diversas hipótese estudadas – Pavimento Flexível.....	80
4.28a/b	custo total/m ² (US\$) para a diversas hipótese estudadas – Pavimento Rígido.....	80
5.1	Fluxograma de atividades da metodologia proposta.....	85
5.2	Variação do VPL em função da Taxa de Amortização(Ta) ao longo do tempo.....	89
5.3	Variação da relação custo/ton(US\$) do Cimento Portland(CP) e CAP 20.....	91
5.4a	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nf=10 ⁵ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento:TSD, Base:BGS.....	120
5.4b	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nf=10 ⁶ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento:CAUQ, Base:BGS.....	121
5.4c	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nf=10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento:CAUQ, Base:BGS.....	122
5.4d	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nf=5x10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento:CAUQ, Base:BGS.....	123
5.4e	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nf=10 ⁸ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento:CAUQ, Base:BGS.....	124

5.5a	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nfc=10 ⁵ , k=65MPa/m, ao longo de 10 anos, Placa com Ttf=4,5MPa, Sub- base de Concreto Rolado(CR).....	125
5.5b	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nfc=10 ⁶ , k=65MPa/m, ao longo de 10 anos, Placa com Ttf = 4,5MPa, Sub- base de Concreto Rolado(CR).....	126
5.5c	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nfc = 10 ⁷ , k=65MPa/m, ao longo de 10 anos, Placa com Ttf = 4,5MPa, Sub- base de Concreto Rolado(CR).....	127
5.5d	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nfc = 5x10 ⁷ , k=65MPa/m, ao longo de 10 anos, Placa com Ttf = 4,5MPa, Sub- base de Concreto Rolado(CR).....	128
5.5e	VPL do custo inicial/m ² versus Ta(%) , Nfc = 10 ⁸ , k=65MPa/m, ao longo de 10 anos, Placa com Ttf = 4,5MPa, Sub- base de Concreto Rolado(CR).....	129
5.6a	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível, Base de Brita Graduada Simples(BGS), camada de rolamento em TSD, Nível de Tráfego(Nf=10 ⁵).....	130
5.6b	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível, Base de Brita Graduada Simples(BGS), camada de rolamento em CAUQ, Nível de Tráfego(Nf=10 ⁶).....	131
5.6c	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível, Base de Brita Graduada Simples(BGS), camada de rolamento em CAUQ, Nível de Tráfego(Nf=10 ⁷).....	132
5.6d	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível, Base de Brita Graduada Simples(BGS), camada de rolamento em CAUQ, Nível de Tráfego(Nf=5x10 ⁷).....	133
5.6e	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível, Base de Brita Graduada Simples(BGS), camada de rolamento em CAUQ, Nível de Tráfego(Nf=10 ⁸).....	134
5.7a	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Rígido ,Sub-base de Concreto Rolado(CR), k=65MPa/m, Nível de Tráfego para carga compatível à Nf = Nfc=10 ⁵	135
5.7b	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Rígido,Sub-base de Concreto Rolado(CR), k=65MPa/m, Nível de Tráfego para carga compatível à Nf = Nfc=10 ⁶	136

5.7c	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de Concreto Rolado(CR), k=65MPa/m, Nível de Tráfego para carga compatível à Nf = Nfc=10 ⁷	137
5.7d	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de Concreto Rolado(CR), k=65MPa/m, Nível de Tráfego para carga compatível à Nf = Nfc = 5x10 ⁷	138
5.7e	VPL do custo total/m ² (custo inicial+custo de restauração), ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de Concreto Rolado(CR), k=65MPa/m, Nível de Tráfego para carga compatível à Nf = Nfc = 10 ⁸	139
5.8a	Ponto de equilíbrio de custo inicial/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc = 10 ⁵ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: TSD, Base BGS.....	141
5.8b	Ponto de equilíbrio de custo inicial/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc = 10 ⁶ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	142
5.8c	Ponto de equilíbrio de custo inicial/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc = 10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	143
5.8d	Ponto de equilíbrio de custo inicial/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=5x10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	144
5.8e	Ponto de equilíbrio de custo inicial/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=10 ⁸ , CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	145
5.9a	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc = 10 ⁵ , CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: TSD, Base BGS.....	146
5.9b	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=10 ⁶ , CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	147
5.9c	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	148
5.9d	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=5x10 ⁷ , CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	149
5.9e	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total/m ² versus Ta(%), Nf = Nfc=10 ⁸ , CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base BGS.....	150

LISTA DE TABELAS

Nº	Tabelas	Pg
2.1	Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos flexíveis.....	14
2.2.	Ciclo de vida de manutenção e restauração de pavimento flexível.....	16
2.3	Processos de deterioração e sugestões de recuperação em pavimentos rígidos.....	19
2.4	Ciclos de vida de manutenção e restauração de pavimentos rígidos.....	22
4.1.	Série histórica de preços unitários do asfalto e do cimento	32
4.2a	Valores de máximo e de mínimo em percentual do CAP e do Cimento Portland...	34
4.2b	Valores de máximo e de mínimo em percentual do CAP e do Cimento Portland...	35
4.2c	Valores de máximo e de mínimo em percentual do CAP e do Cimento Portland...	36
4.3	Peso (%) do cimento e do asfalto na composição de custo US\$/m ³	37
4.4	Preços extremos de CAUQ e do concreto (placa) em termos de custo US\$/m ³	38
4.5	Percentagens nos preços unitários do DER/SP e de MUDRICK.....	38
4.6a	Estruturas de pavimento Rígido e Flexível.....	42
4.6b	Classificação do tipo de tráfego em função do VDM.....	43
4.6c	Nível de tráfego (configuração de eixo, frequência e carga).....	43
4.7	Preço unitário do pavimento (US\$/m ²)	44
4.8	Relações percentuais de preço (Pavimento Rígido/Flexível).....	45
4.9	Preço unitário majorado para o asfalto e minorado para o concreto.....	45

4.10	Relações percentuais entre pavimento Rígido e Flexível, majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa).....	46
4.11	Relações de preços Pavimento Flexível (10 anos) e Pavimento Rígido (20 anos)..	47
4.12	Relações de preços majorado o Pavimento Flexível (10 anos) e minorado o Pavimento Rígido (20 anos).....	47
4.13a	Participação percentual da capa (asfalto) ou da placa (concreto) por nível de tráfego – CBR=2%.....	49
4.13b	Participação percentual da capa (asfalto) ou da placa (concreto) por nível de tráfego – CBR=5%.....	49
4.13c	Participação percentual da capa (asfalto) ou da placa (concreto) por nível de tráfego – CBR=6%.....	50
4.13d	Participação percentual da capa (asfalto) ou da placa (concreto) por nível de tráfego – CBR=9%.....	50
4.14a	Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 10%	52
4.14b	Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 12%	52
4.14c	Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 14%	52
4.15a	Hipótese B1 – Taxa de atratividade de 10%	54
4.15b	Hipótese B1 – Taxa de atratividade de 12%	55
4.15c	Hipótese B1 – Taxa de atratividade de 14%	55
4.16a	Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 10%	57
4.16b	Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 12%	57
4.16c	Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 14%	57
4.17a	Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 10%	59
4.17b	Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 12%	60
4.17c	Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 14%	60
4.18a	Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 10%	62
4.18b	Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 12%	62
4.18c	Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 14%	63
4.19a	Hipótese N1 – Taxa de atratividade de 10%	65
4.19b	Hipótese N1 – Taxa de atratividade de 12%	65
4.19c	Hipótese N1 – Taxa de atratividade de 14%	65

4.20a	Hipótese O1 – Taxa de atratividade de 10%	67
4.20b	Hipótese O1 – Taxa de atratividade de 12%	67
4.20c	Hipótese O1 – Taxa de atratividade de 14%	68
4.21a	Hipótese P1 – Taxa de atratividade de 10%	70
4.21b	Hipótese P1 – Taxa de atratividade de 12%	70
4.21c	Hipótese P1 – Taxa de atratividade de 14%	70
4.22a	Hipótese Q1 – Taxa de atratividade de 10%	72
4.22b	Hipótese Q1 – Taxa de atratividade de 12%	73
4.22c	Hipótese Q1 – Taxa de atratividade de 14%	73
4.23a	Hipótese R1 – Taxa de atratividade de 10%	75
4.23b	Hipótese R1 – Taxa de atratividade de 12%	75
4.23c	Hipótese R1 – Taxa de atratividade de 14%	75
5.1	Classificação do tipo de tráfego em função do VDM.....	87
5.2	Nível de tráfego (configuração de eixo, frequência e carga).....	88
5.3a	Pavimento Flexível-custo dos serviços DER/SP, a valores de DEZ/2005.....	90
5.3b	Pavimento Rígido-custo dos serviços DER/SP, a valores de DEZ/2005.....	90
5.4a	Dimensionamento inicial, $N_f=10^5$ e 10^6 , Pavimento flexível, 10 anos de vida útil.	92
5.4b	Dimensionamento inicial, $N_f=10^7$ e 5×10^7 , Pavimento flexível, 10 anos de vida útil.....	93
5.4c	Dimensionamento inicial, $N_f=10^8$, Pavimento flexível, 10 anos de vida útil.....	94
5.4d	Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^5$ e 10^6 , Pavimento Rígido, 20 anos de vida útil.....	95
5.4e	Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^7$ e 5×10^7 , Pavimento Rígido, 20 anos de vida útil.....	96
5.4f	Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^8$, Pavimento Rígido, 20 anos de vida útil.....	97
5.5	Critério de intervenção ao longo do tempo.....	98
5.6a	Cenário de causa e efeito, considerando o PSI, com revestimento em TSD.....	98
5.6b	Cenário de causa e efeito, considerando o PSI, com revestimento em CAUQ.....	98
5.7	Defeitos, em pavimentos flexível, relacionado ao PSI.....	99
5.8	Evolução dos defeitos, em pavimento rígido, durante o período de 40 anos.....	100

5.9	Tipo de defeito envolvidos e materiais adotados.....	100
5.10a	Custo do cenário de intervenção, com revestimento em TSD.....	101
5.10b	Custo do cenário de intervenção, com revestimento em CAUQ.....	102
5.11	Tipo de defeito versus custo no ano da intervenção.....	102
5.12	Tipos de defeito versus custo de serviços envolvidos e materiais adotados.....	103
5.13a	Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de vida útil, Ta:5%.....	104
5.13b	Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de vida útil, Ta:10%.....	105
5.13c	Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de vida útil, Ta:15%.....	106
5.14a	Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de vida útil, Ta:5%.....	107
5.14b	Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de vida útil, Ta:10%.....	108
5.14c	Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de vida útil, Ta:15%.....	109
5.15a	VPL(Ta=5%) do Pavimento Flexível, 40 anos de vida útil.....	111
5.15b	VPL(Ta=10%) do Pavimento Flexível, 40 anos de vida útil.....	112
5.15c	VPL(Ta=15%) do Pavimento Flexível, 40 anos de vida útil.....	113
5.16a	VPL(Ta=5%) do Pavimento Rígido, 40 anos de vida útil.....	114
5.16b	VPL(Ta=10%) do Pavimento Rígido, 40 anos de vida útil.....	116
5.16c	VPL(Ta=15%) do Pavimento Rígido, 40 anos de vida útil.....	117
5.17a	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, Nf=10 ⁵	120
5.17b	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, Nf=10 ⁶	121
5.17c	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, Nf=10 ⁷	122
5.17d	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, Nf=5x10 ⁷	123
5.17e	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, Nf=10 ⁸	124
5.18a	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Rígido, para carga compatível a Nf, decorrente do processo adotado no pavimento flexível, ao longo de 10 anos (Nfc=10 ⁵).....	125
5.18b	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Rígido, para carga compatível a	

	Nf, decorrente do processo adotado no pavimento flexível, ao longo de 10 anos (Nfc= 10^6).....	126
5.18c	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Rígido, para carga compatível a Nf, decorrente do processo adotado no pavimento flexível, ao longo de 10 anos (Nfc= 10^7).....	127
5.18d	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Rígido, para carga compatível a Nf, decorrente do processo adotado no pavimento flexível, ao longo de 10 anos (Nfc= 5×10^7).....	128
5.18e	Equações de VPL de custo inicial de Pavimento Rígido, para carga compatível a Nf, decorrente do processo adotado no pavimento flexível, ao longo de 10 anos (Nfc= 10^8).....	129
5.19a	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD,ao longo de 40 anos, para Nf= 10^5	130
5.19b	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD,ao longo de 40 anos, para Nf= 10^6	131
5.19c	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD,ao longo de 40 anos, para Nf= 10^7	132
5.19d	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD,ao longo de 40 anos, para Nf= 5×10^7	133
5.19e	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD,ao longo de 40 anos, para Nf= 10^8	134
5.20a	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível a Nf= 10^5	135
5.20b	Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível a	

Nf=10 ⁶	136
5.20c Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível a Nf=10 ⁷	137
5.20d Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível a Nf=5x10 ⁷	138
5.20e Equações de VPL de custo total(custo inicial+custo de restauração) para Pavimento Rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível a Nf=10 ⁸	139
5.21a Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁵ , ao longo de 10 anos.....	141
5.21b Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁶ , ao longo de 10 anos.....	142
5.21c Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁷ , ao longo de 10 anos.....	143
5.21d Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=5x10 ⁷ , ao longo de 10 anos.....	144
5.21e Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁸ , ao longo de 10 anos.....	145
5.22a Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁵ , ao longo de 40 anos.....	146
5.22b Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego(Nf=Nfc=10 ⁶ , ao longo de 40 anos.....	147

5.22c	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego($N_f=N_{fc}=10^7$, ao longo de 40 anos.....	148
5.22d	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego($N_f=N_{fc}=5 \times 10^7$, ao longo de 40 anos.....	149
5.22e	Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou k, tipo de Base ou Sub-base e Nível de Tráfego($N_f=N_{fc}=10^8$, ao longo de 40 anos.....	150
5.23	Comparação de VPL entre custo inicial e custo total para $CBR=2\%$, $N_f=N_{fc}=10^8$	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials, atual AASHTO
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACC	Associação Canadense de Cimento
ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
BCB	Banco Central do Brasil
BEP	Break-Even-Point
BGS	Brita Graduada Simples
BR	Sigla que antecede a identificação de uma rodovia federal
CAP	Concreto Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CP	Cimento Portland
CR	Concreto Rolado, considerado como base cimentada
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem/ São Paulo
DMT	Distância Média de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atual DNIT
DNER-ES	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Especificação de Serviço
DNER-ME	DNER – Método
DNER-PRO	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Projeto
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
ECL S/A	Engenharia, Consultoria e Economia Sociedade Anônima
ESRD	Eixo Simples de Roda Dupla
ETD	Eixo Tandem Duplo

FWD	Falling Weight Deflectometer
GR	Gradação de faixa
HMA	Hot Mix Asphalt
HDM	Highway Development and Management, Programa computacional do banco Mundial para análise econômica de Rede Rodoviária para investimentos com restrição orçamentária, para pavimento Flexível e Pavimento Rígido, na Versão IV
IAA	Institute American Asphalt
ICP	Índice de Condição do pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGm	Índice de Gravidade Global médio
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
MAPA	Minnesota Asphalt Pavement Association
MID	Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos
M&R	Atividades de Manutenção e Reabilitação
NAPA	National Asphalt Pavement Association
NDOR	Nebraska Department of Roads
PCA	Pavement Concrete Association
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
SINDUSCON	Sindicato da Construção Civil do Rio de Janeiro
SC	Solo Cimento, considerado como base cimentada
S/DOP	Sem Dopping
SP	São Paulo
Ta	Taxa de Amortização ou atratividade, associada a financiamentos onde há amortização de capital inicial ao longo do tempo = Taxa de juros decorrente da oportunidade de capital = Taxa de desconto, aproximadamente = Taxa de interesse menos a Taxa de Inflação
TIR	Taxa Interna de Retorno
TSB	Tratamento Superficial Betuminoso
TSS	Tratamento Superficial Simples
TSD	Tratamento Superficial Duplo
Veíc	Veículos
VMD	Volume Médio Diário de Veículos
VMDp	Volume Médio Diário de Veículos de projeto
VPL	Valor Presente Líquido
VSA	Valor de Serventia Atual

LISTA DE SÍMBOLOS

I	Investimento
i	Taxa de juros adotada
IP	Índice de Prioridade
K	Módulo de reação do terreno de fundação, valor em MPa/m no topo da sub-base
km	Quilômetro
kN	Quilonewtons
lbs	Libras, como medida de massa
M&R	Manutenção e Reabilitação
n	Tempo considerado ou período
N = N _f = N _{fc}	Número equivalente de solicitações do eixo padrão de 82 kN, para o período de projeto inicial.
P ₀	Valor do Principal ou do Investimento Inicial , no tempo zero
PSI	Present Serviceability Index
R	Receita
Σ _{tf} ou T _{tf}	Tensão de Tração na Flexão, em MPa (Mega Pascal)
Ton ou t	Abreviatura de tonelada
tf	Tonelada força
R\$	Moeda brasileira – real
US\$	Moeda dos Estados Unidos da América – dólar

RESUMO

RODRIGUES FILHO, Silvio. *Estudo Econômico Comparativo entre Tipos de Pavimentos*. Campinas: UNICAMP, 2006. Qualificação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 173 páginas.

Este estudo identifica o ponto de equilíbrio econômico entre o uso de um Pavimento Flexível ou Rígido em função do nível de tráfego e capacidade de suporte de subleito, relacionado a custo/m² e taxa de amortização através do dimensionamento do Pavimento Flexível pelo método CBR e do pavimento rígido pelo método da PCA/66. Considera cenários de intervenções nesses pavimentos ao longo de um ciclo de vida de 10 e 40 anos onde os materiais são variados, referenciando as estruturas de pavimento a um mesmo patamar monetário e temporal, através da variável dependente Valor Presente Líquido (VPL). Mostra que quaisquer que sejam os procedimentos de dimensionamento que venham a definir o tipo de estrutura de pavimento a ser adotado em um empreendimento rodoviário, esses devem ser acompanhados de uma análise econômica utilizando-se do conceito de "*Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*". Como conclusão, é mostrado que deve ser evitado a opção por um tipo de estrutura de pavimento que envolve custo inicial e os custos de intervenções, baseado apenas em seu custo inicial. A simples análise de custo inicial pode não ser a melhor opção ao longo do ciclo de vida de um pavimento sob o ponto de vista do investidor, em função do custo do dinheiro disponível no mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos, comparação econômica, ponto de equilíbrio, ciclo de vida.

ABSTRACT

RODRIGUES FILHO, Silvio. *Economical comparative Study among types of pavements*. Campinas: University of Civil Engineering, Architecture and Urbanization - UNICAMP, 2006, Master's degree Qualfication. University of Civil Engineering, Architecture and Urbanization, UNICAMP, 173 pages.

This study identify the break-even-point between Rigid and Flexible pavement use function of the traffic and subgrade support related to cost/m² and discount rate, through CBR method of Flexible Pavement Design and PCA/66 Rigid pavement design. Consider intervention scenarios of 10 and 40 years with materials variations referred to the pavement structures of the same monetary and temporal landing through dependent variable Net Present Value (NPV). Show that wherever be the design pavement procedures to define the pavement structure in a roadway enterprise is mandatory to come with an economic analysis using the Life Cycle Cost Analysis (LCCA) conceptions. As a conclusion is showed to be mandatory to avoid option for a pavement structure that involves initial and interventions costs, based only on its initial costs. The simple initial cost analysis couldn't be best option over the investor point of view considering the money cost available in the market.

KEY WORDS: Pavement, economics similitude, break-even-point , Life Cycle Cost Analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Estradas e Economia

As estradas e a economia, como um todo, sempre andaram juntas em termos de Brasil. A opção nacional para o desenvolvimento e o escoamento da produção foi a de se construir estradas, tendo como ponto de partida a expressão “*Governar é abrir estradas*”, utilizada em janeiro de 1926 na posse do Presidente Washington Luiz.

Com o passar dos anos, entretanto, essa decisão trouxe dificuldades aos demais governantes, que se viram sem capacidade financeira para manter a malha rodoviária dentro de certos padrões de qualidade e conforto a serem oferecidos ao usuário, e sem um tipo de transporte alternativo como opção para o desenvolvimento do País.

As estradas se deterioraram rapidamente, em função do solo no qual eram inseridas, do clima, da evolução dos veículos e de sua capacidade de transporte de cargas nos seus vários segmentos.

O artigo sobre técnicas e materiais, publicado na *Revista Dirigente Construtor* em fevereiro de 1976 (1) enfatizava a influência da crise do petróleo de 1973, com reflexos em 1974 e 1975, criando espaço para o uso de Pavimento Rígido.

Esse artigo procurou esclarecer que a utilização de Pavimentos Flexíveis tinha sido uma opção economicamente mais viável que o emprego de Pavimento Rígido, em face da disponibilidade de equipamentos, facilidade de material e de execução, rapidez na manutenção e restauração, dentre outras vantagens, expandindo a cultura do uso desse tipo de estrutura de pavimento para a maioria das estradas hoje em operação no Brasil

Entretanto, afirma o artigo, a crise do petróleo fomentou a alternativa de uso do concreto em pavimentos como opção decorrente de experiências no exterior, ainda que restrito à condição de local, em que se supunha que o Pavimento Flexível apresentasse desvantagem quando utilizado por veículos de carga pesada e em trechos íngremes, como foi o caso da interligação Anchieta – Imigrantes. Essa mentalidade se manteve ao longo dos anos.

Então, foram despendidos esforços com pesquisas de tecnologia de material e equipamentos para uso em pavimentos, tornando-os cada vez mais modernos, imprimindo velocidade às obras de pavimentação e melhorando a qualidade de acabamento.

Deste modo, passou a ficar cada vez mais difícil identificar o ponto de equilíbrio que torna viável o uso do Pavimento Rígido em lugar do Pavimento Flexível, ou vice-versa.

Ciente das limitações, decorrentes das análises que têm sido desenvolvidas para respaldar esse tipo de decisão, aliado-as à redução da diferença de preços entre o cimento e o asfalto originada na crise do petróleo, à evolução dos equipamentos, à experiência adquirida ao longo dos anos e ao custo do dinheiro disponível no mercado, é desenvolvido o presente estudo econômico.

1.2. Motivação e objetivo do estudo

A recomendação sobre o uso de Pavimento Flexível ou Pavimento Rígido, de forma a estabelecer ou definir um ponto de equilíbrio que atenda aos aspectos técnicos, econômicos e políticos, tem sido um desafio sem precedentes, que vem suscitando sobre o tema a formação de diversas correntes, sob variados pontos de vista e interesses específicos.

O objetivo desta dissertação, portanto, é caracterizar o momento em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante em rodovias que o Pavimento Flexível, através de cenários nos quais os materiais são variados em função do nível de tráfego e do suporte de subleito, envolvendo a estrutura de pavimento inicial e as respectivas intervenções ao longo de um ciclo de vida útil de 10 e 40 anos, para determinados custos/m² e taxas de Amortização (Ta) referenciada a um mesmo patamar monetário e temporal via Valor Presente Líquido (VPL).

Ao investidor, tomador de decisão é demonstrado que, quaisquer que sejam os procedimentos metodológicos que venham a definir o tipo de estrutura de pavimento a ser implantada, eles devem vir acompanhados de uma análise econômica.

Esse estudo, entretanto, não tem a pretensão de discutir procedimentos e/ou métodos de cálculo inicial de estruturas de pavimentos e, muito menos, modelos de previsão de intervenções, ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

O importante deste estudo é o conceito de *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) (2) que permite ao tomador de decisão optar por uma determinada estrutura inicial de pavimento e o modelo de previsão de intervenções para dado subleito, nível de tráfego e Taxa de Amortização (Ta), disponíveis na implantação de uma rodovia, ainda que considere este como sendo um estudo inicial, em termos de planejamento.

1.3. Estrutura do Trabalho

A estrutura organizacional adotada nesta dissertação é a divisão dos assuntos em capítulos.

No Capítulo 2, são abordados os tipos de pavimentos objeto de estudo e os respectivos desempenhos, com base em experiências nacionais e internacionais, considerando intervenções generalizadas em Pavimentos Flexíveis e intervenções localizadas em Pavimentos Rígidos. Considerações sobre os principais tipos de defeitos e o ciclo de vida esperado para cada tipo de pavimento também estão apresentadas nesse Capítulo.

No Capítulo 3, é apresentada a experiência adquirida com os estudos econômicos realizados em pavimentos, bem como a identificação do parâmetro econômico VPL como suficiente para uma avaliação econômica de forma a caracterizar o momento em que o Pavimento Rígido se torna mais interessante, do ponto de vista econômico, que o Pavimento Flexível.

O Capítulo 4 aborda o experimento envolvendo avaliações e comparações econômicas entre tipos de pavimentos. Portanto, tem como objetivo, caracterizar o momento em que o Pavimento de rodovias do tipo Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento do tipo Flexível. Para tanto, utilizam-se de cenários nos quais os materiais são variados em função do nível de tráfego e do suporte de subleito. Envolvem-se nesse processo a estrutura de pavimento inicial e as respectivas intervenções ao longo de seu ciclo de vida útil, para determinados custos/m² e taxas de Amortização (Ta) referenciada a um mesmo patamar monetário e temporal via Valor Presente Líquido (VPL).

O Capítulo 5 apresenta um fluxograma de atividades como uma variante do experimento para o desenvolvimento de estudos econômicos em um ciclo de vida útil de 10 e 40 anos, com cenários de intervenções (manutenção e restauração) específicos, considerando possíveis flutuações de câmbio, de preços do petróleo e seus reflexos no preço do asfalto e as flutuações no preço do cimento.

Trata da aplicação dessa variante do experimento de forma a apresentar uma proposta de seqüência metodológica na definição do ponto de equilíbrio em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível. Considera o Pavimento Flexível dimensionado para 10 anos e o Pavimento Rígido dimensionado para 20 anos em cenários de custo inicial e custo total em função do VPL a T_a para 10 anos e de 40 anos.

No capítulo 6 são apresentadas considerações sobre a importância desse estudo econômico em uma tomada de decisão sobre o uso de Pavimento Rígido ou de Pavimento Flexível caracterizando o porquê do “valeu a pena” desenvolver essa dissertação. As conclusões e sugestões para futuras pesquisas envolvendo os Pavimentos Flexíveis e os Pavimentos Rígidos, decorrentes dos resultados obtidos também estão apresentadas no Capítulo 6.

O conceito de LCCA demonstra a importância de se avaliar o custo total/m² de um pavimento ao longo de seu ciclo de vida, que envolve o custo inicial/m² adicionado ao custo das intervenções/m², para determinada T_a , que é o cerne da questão, dado o nível de tráfego e a capacidade de suporte do subleito.

Sem se pretender esgotar o tema, de crescente complexidade e de reconhecida importância, considera-se que este Trabalho possa fornecer informações que possibilite a quem de direito novos horizontes de análise, no sentido de contribuir para o crescimento deste País, que, em razão de suas dimensões continentais, tem em sua malha viária um recurso fundamental para o desenvolvimento e a integração socioeconômica.

2. PAVIMENTOS ESTUDADOS E RESPECTIVOS DESEMPENHOS

2.1 Pavimentos Flexíveis

O termo *Pavimento Flexível*, segundo a ABNT (3) consiste em uma camada de rolamento betuminosa e de base constituída de uma ou mais camadas que se apóia sobre o leito da via, sendo que a camada de rolamento pode se adaptar às deformações da base. A Figura 2.1 mostra uma estrutura de Pavimento Flexível típica.

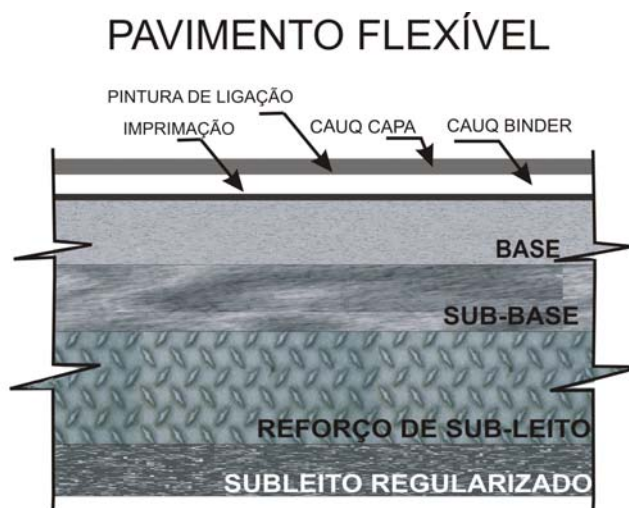


Figura 2.1 - Estrutura de pavimento flexível típica

Pavimentos Flexíveis começaram a ser estratificados em camadas através de processos empíricos, envolvendo observações sobre como eles interagem com o solo, o clima e as características do nível de tráfego, em termos de frequência, carga e tipo de veículo. Esses processos deram origem a determinadas estruturas de pavimentos que visavam garantir que os subleitos onde estas estariam assentes resistiriam aos esforços induzidos pelo tráfego transiente, sem ruptura.

Enquanto os processos empíricos eram largamente aplicados, outros procedimentos metodológicos, chamados de *mecanístico-empíricos* e *puramente mecanísticos*, passaram a ser desenvolvidos. As respostas dos Pavimentos Flexíveis a diferentes solos, climas e níveis de tráfego passaram a ser modeladas matematicamente, fornecendo aos projetistas maiores informações sobre as opções de materiais e sobre o comportamento estrutural de projeto.

Passou-se então, segundo MEDINA (4), PREUSSLER (5) e MOTTA (6), dentre outros, a observar, através de modelos mecanísticos, que determinados elementos, como a tensão de tração na fibra inferior do asfalto, levavam o pavimento à fadiga prematura, o que permitiu melhor estudo do comportamento conjunto da estrutura de um pavimento e de seu ciclo de vida.

Surgiram os pavimentos compostos de base cimentada, denominados Flexíveis Semi-Rígidos, dando origem a pavimentos mais esbeltos e com expectativas de suporte e vida úteis supostamente superiores aos decorrentes de bases granulares, e que vêm sendo objeto de estudos específicos. As metodologias para definir estruturas de Pavimentos Flexíveis têm evoluído com o aprimoramento de técnicas computacionais e com experiências de laboratório e de campo.

2.2 Pavimentos Rígidos

O termo *Pavimento Rígido*, segundo a ABNT (3) é composto de uma camada de concreto de Cimento Portland com função de revestimento e de base assentada diretamente sobre o subleito ou sub-base.

Segundo PITA (7), YODER e WITCZAK (8), SHIRAZ (9), dentre outros, tem sido empregado no meio técnico para denominar uma placa de concreto simples, com ou sem barras de ligação ou transferência, ou mesmo armada, de elevado módulo de elasticidade, que distribui ao subleito as cargas transientes superficiais, tendo como elemento de contribuição uma camada intermediária denominada sub-base, com características estruturais semelhantes à base de um Pavimento Flexível. A Figura 2.2 mostra uma estrutura de Pavimento Rígido típica.



Figura 2.2 - Estrutura de pavimento rígido típica

Os Pavimentos Rígidos foram inicialmente desenvolvidos com apoio em modelos analíticos desenvolvidos por WESTERGAARD (10), visando a definição de espessuras de placas que lhes possibilitassem absorver sem ruptura as cargas transientes decorrentes do tráfego de veículos. Tais modelos consideravam as tensões de tração na flexão em placas de concreto submetidas a esforços decorrentes de cargas isoladas, com base na teoria clássica de placas isotrópicas medianamente espessas, objetos de estudos um século antes. O subleito foi considerado como um líquido muito denso, sem prever a existência de transferência de cargas em suas juntas.

PICKETT e RAY (11), posteriormente, desenvolveram cartas de influência de deflexões e momentos fletores, posicionando cargas pontuais nos cantos, nas bordas e no centro de placas em concreto simples. Através de uma das cartas de influência, deduziram a máxima tensão de tração na flexão na face inferior da placa, na direção do sentido de tráfego.

Entretanto, espessuras de placas de concreto simples passaram a ser definidas, para fins de rodovias, com a introdução do conceito de *consumo de resistência à fadiga* decorrente de estudos desenvolvidos em laboratório por HILSDORF e KESLER (12). Essas espessuras de placas passaram a ser definidas para cargas sobre a borda de placa e ábacos para cálculo de tensões decorrentes de simulações computacionais, utilizando-se as cartas de influência citadas, especificamente a de número 6, com módulo de elasticidade fixo em 28.000 MPa, para eixos rodoviários simples de roda dupla (ESRD) e eixos tandem duplos (ETD).

Os módulos de ruptura dessas placas passaram a ser obtidos de corpos de prova prismáticos, em ensaios dinâmicos de ciclos de fadiga em laboratório, admitindo o comportamento linear e o consumo de resistência à fadiga de cada carga por tipo de eixo. Observou-se que o módulo de ruptura determinado pelo ensaio de carga central levava a espessura de placa de até 2 cm inferiores aos obtidos com os módulos de ruptura dos ensaios de dois cutelos. O módulo de ruptura mínimo recomendado para rodovias passou a ser de 4,5 MPa, aos 28 dias.

À semelhança do que ocorrem com os Pavimentos Flexíveis, as metodologias para definir as espessuras de placas têm evoluído com o aprimoramento de técnicas computacionais e com experiências de laboratório e de campo.

2.3 Desempenho de Pavimentos

A *Minnesota Asphalt Pavement Association* (MAPA) publicou em seu site, em março de 2002, o artigo “*Pavement Life – What is the Truth?*”, indicando que Pavimentos Rígidos têm vida de serviço similar aos Flexíveis, em se tratando de pavimentos com estrutura toda em asfalto (*Full Deph HMA*) ou de projetos com base de agregados.

Estudos da Empresa ERES (13) identificaram que o pavimento asfáltico requer atividades de manutenção a intervalos que variam de 3 a 5 anos e maiores restaurações somente após os 17

anos iniciais. No concreto, pequenas manutenções são necessárias após 12 anos de liberação ao tráfego, e intervenções superficiais localizadas, após 18 anos.

A longevidade superior do concreto em relação à mistura asfáltica, no Brasil, segundo SALATHÉ et al. (14), está na não-homogeneidade do material asfáltico, em função de misturas de crus diferentes em sucessivas campanhas de produção, ou quando as condições de temperatura e tempo de estocagem ultrapassam certos níveis, o que pode vir a acarretar perdas de frações leves do asfalto.

Segundo a Canadian Cement Association (15), os Pavimentos Flexíveis e os Pavimentos Rígidos reagem de forma diferente às cargas distribuídas ao subleito. O Pavimento Rígido, estruturalmente, não é sensível às variações das intempéries, que afetam a capacidade de suporte do subleito e tornam a estrutura do Pavimento Flexível vulnerável às cargas pesadas. Em decorrência desses estudos, a Figura 2.3 apresenta a distribuição de esforços em Pavimentos Flexíveis e Rígidos.

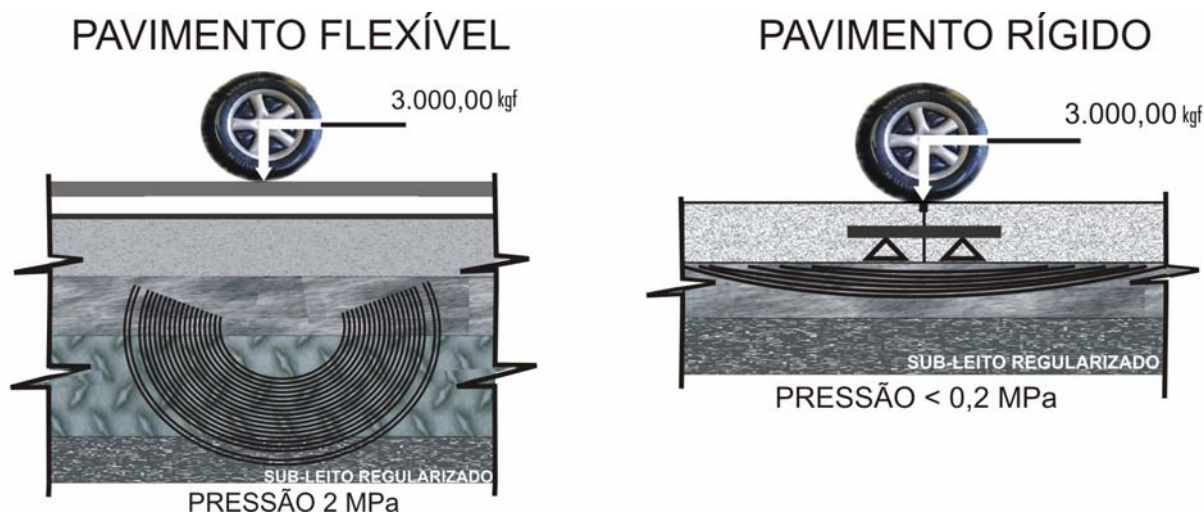


Figura 2.3 - Distribuição de esforços em pavimentos flexíveis e rígidos

NEUFVILLE (16) desenvolveu análises estatísticas de vida de projeto em pavimentos, com dados entre 1920 e 1950, obtendo 17 anos para Pavimentos Flexíveis. Segundo WILLIAM (17), Pavimentos Rígidos necessitam de manutenção durante os primeiros 15 anos de serviço devido à deterioração das juntas e a problemas de drenagem.

Em estudos sobre Pavimentos Rígidos e Flexíveis realizados por ZEMINIAN (18), DOMINGUES (19), LEOMAR, SORIA e WIDMER (20), entre outros, foi possível observar que, para Pavimentos Flexíveis, a vida útil de 10 anos, com possibilidade de intervenções generalizadas nesse período, e para Pavimentos Rígidos, a vida útil de 20 anos, com possibilidade de intervenções localizadas envolvendo resselagem de juntas, traduz de forma conservativa o desempenho do pavimento.

Portanto, o que se observa é que não há como definir, de maneira geral, o momento em que se fazem necessárias intervenções nos Pavimentos Rígidos e nos Flexíveis. O importante a se observar é que o momento da intervenção depende do dimensionamento, do modelo de fadiga, do nível de tráfego, do controle de qualidade, do meio ambiente, entre outros fatores.

Dentro dessa linha têm sido desenvolvidos diversos modelos que procuram estabelecer procedimentos metodológicos para definir o momento da intervenção e os custos decorrentes dessa intervenção.

Estudos desenvolvidos por PEDRAZZI (21) indicam que a política de intervenção em estruturas de Pavimentos Flexíveis envolve irregularidades, trilha de roda, trincamentos térmicos e trincas de fadiga, criando uma metodologia própria.

Essa metodologia envolve cenários de intervenções em Pavimento Flexível no qual se estabelece a ordem de prioridade de intervenção, via processo de ranqueamento em função das características do nível de tráfego, avaliação funcional – defeitos superficiais através da relação $IGG \times VSA$ e avaliação estrutural, deflexões máximas recuperáveis decorrentes dos procedimentos tradicionais do DNER, atual DNIT, em área padrão de 3,5m x 100m.

O fluxograma de atividades desenvolvidas por PEDRAZZI (21) é apresentado, a seguir, na Figura 2.4.

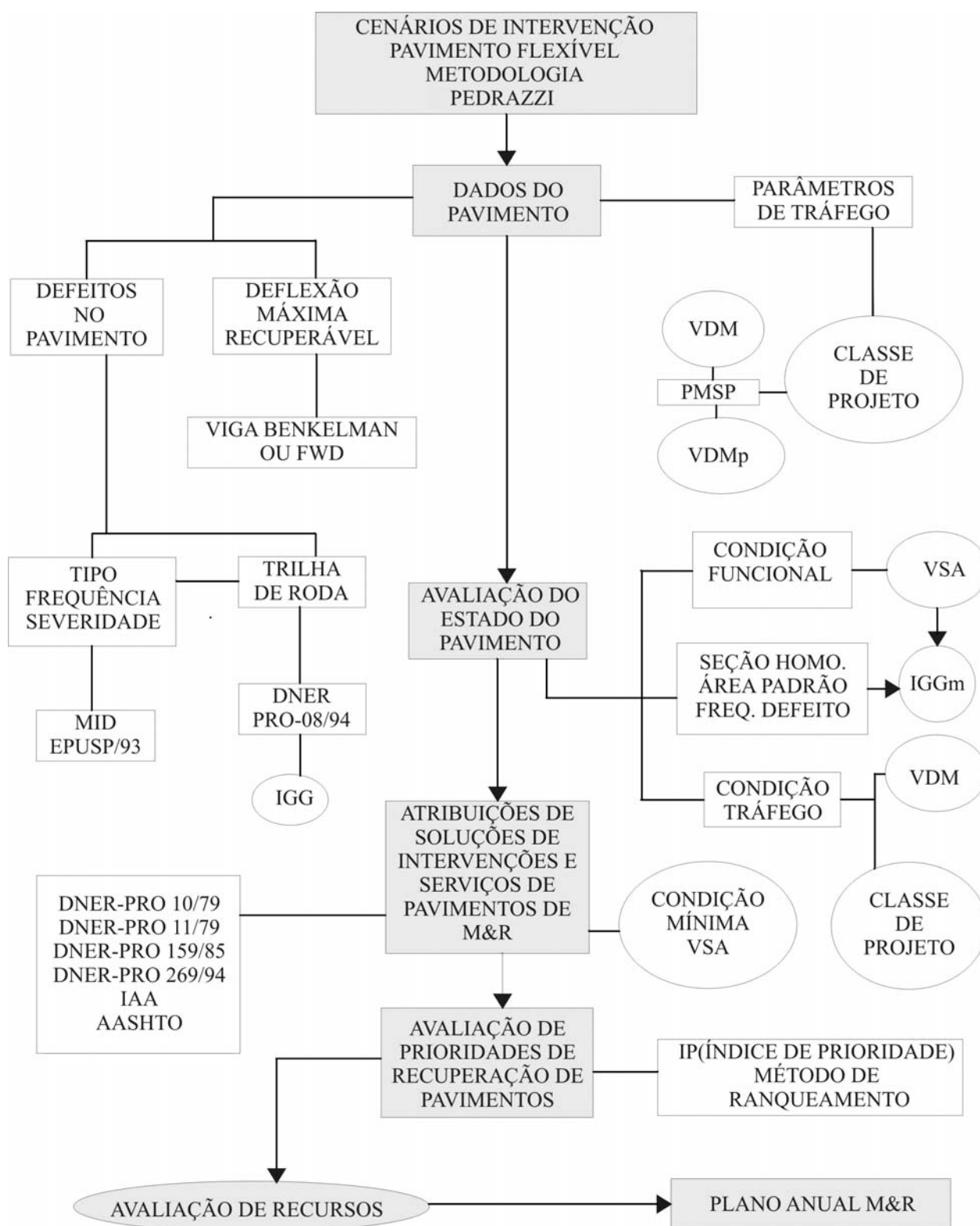


Figura 2.4. Política de intervenção desenvolvida por PEDRAZZI (21)

Um outro ponto a se considerar sobre o desempenho dos pavimentos, refere-se aos estudos de fadiga de material betuminoso.

Em estudos sobre fadiga de material betuminoso realizados pelo método da AASHTO (22), MONISMITH (23) não obteve valores limites de fadiga de aplicações de carga superiores a 10^7 . SAAL e PELL (24), entretanto, chegaram a valores de aplicações de carga da ordem de 10^8 .

Segundo MEDINA (4), o parâmetro fadiga do material é importante na definição da política de manutenção e restauração. Suas limitações, entretanto, referentes à influência do modo de carregamento dos ensaios de laboratório sob condições de tensão controlada e/ou sob condições de deformação controlada, permitem apenas a obtenção de uma estimativa.

De acordo com HUANG (25), as características geotécnicas e de resiliência dos materiais a serem empregados, o processo de acabamento da superfície, os processos construtivos, um controle de qualidade eficaz, afetam o desempenho dos pavimentos ao longo de sua vida útil.

Segundo CARDOSO (26), o importante na estruturação de um pavimento do tipo Flexível é a visão do projetista das deformações permanentes, caracterizadas pela consolidação, pelo escoamento plástico, pela expansão, e das deformações transitórias, que desaparecem com a retirada das cargas que as produziram.

A experiência de outros países tem sido utilizada na análise de desempenho dos Pavimentos Flexíveis ainda que tenhamos no Brasil, uma série de estudos de desempenho, envolvendo deterioração e sugestões de recuperação com participação do IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

Entretanto, visando dar uma idéia de como tem sido considerado os desgastes de ordem visual, observado em campo, suas possíveis causas e o tratamento proposto, até para uma política de intervenção, é apresentado a Tabela 2.1 a seguir, que mostra os processos de deterioração e sugestões de recuperação elaborada pelo Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27). Existem entretanto, outros tipos de processos de deterioração e sugestões de recuperação, baseados em experiências brasileiras que são tratados nos livros de SILVA sobre

Patologia e manutenção de Pavimentos, de BALBO sobre Pavimentos Asfálticos Patologias e Manutenção, de DOMINGUES sobre Identificação de Defeitos de Pavimentos Asfálticos de Pavimentos e de, LEOMAR *et al.* sobre Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos. Tais referências constam da bibliografia de apoio.

Tabela 2.1 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos flexíveis

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
1. Trincamentos			
1.1. Pele de Jacaré ou trincas de fadiga	Trincas interligadas em formato de couro de jacaré	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiência estrutural; - Deficiência de base; - Falta de drenagem na base; - Envelhecimento ou Excedente de cargas 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem contra infiltração em face às névoas, etc; - impermeabilização - delgadas misturas a frio ou a quente; - e, intervenções em áreas específicas
1.2. Borda de pavimento	Similar às trincas de fadiga, localizadas entre 1 a 2 pés da borda do pavimento	<ul style="list-style-type: none"> - Excedente de cargas; - Meio ambiente; - Problema construtivo - Rebaixo de borda - Elevação de borda devido ao acúmulo de água 	<ul style="list-style-type: none"> - Nada a fazer; - Enchimento de trincas; - Mistura a frio, delgada; - Manutenção de acostamento.
1.3. longitudinal	Predominantemente paralelas à linha de centro da rodovia	<ul style="list-style-type: none"> - Excedente de cargas, na trilha de rodas; - Meio ambiente (ação de congelamento); - Práticas impróprias de construção(trincas de juntas); - Drenagem deficiente; - Trinca de reflexão 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem e / ou enchimento; - selagem contra infiltração; - impermeabilização - intervenções em áreas específicas ou. Localizadas.

NOTA: Adaptado do NDOR(27)

Tabela 2.1 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos flexíveis (continuação)

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
1. Continuação...			
1.4. Blocos aleatórios	Trincas que dividem o pavimento em trechos irregulares com formato de peças retangulares ocorrendo, em geral em intervalos regulares de espaços	<ul style="list-style-type: none"> - deficiência estrutural; - deficiência de base; - falta de drenagem na base; - envelhecimento ou excedente de cargas 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem contra infiltração em face às névoas, etc; - impermeabilização - misturas a frio ou a quente, delgada;
1.5. Transversal	Ocorrem em geral perpendicularmente à linha de centro, envolvendo cerca de $\frac{3}{4}$ ou mais da largura da via	<ul style="list-style-type: none"> - excedente de cargas; - meio ambiente; - problemas construtivos - rebaixo de borda - Elevação de borda devido ao acúmulo de água 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem contra infiltração em face às névoas, etc; - impermeabilização - misturas a frio ou quente, delgada; - Lama asfáltica; - Intervenções em áreas específicas ou intervenção localizada.
2. Defeitos progressivos	São defeitos de superfície, causados pela perda do binder do asfalto e do deslocamento dos agregados.	<ul style="list-style-type: none"> - Qualidade pobre da mistura; - Rigidez devido ao envelhecimento do asfalto - Insuficiência no conteúdo de asfalto; - Métodos impróprios de construção 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem contra Infiltração em face às névoas, etc; - impermeabilização - misturas a frio ou a quente, delgada
3. Distorções	São defeitos de desgastes ou fadiga na superfície ou na fundação, causados pela densificação, consolidação, escorregamento, deslizamento, creep, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Suporte inadequado ou sobrecarga; - Tensões decorrentes de umidade ou variações térmicas; - Perda de suporte entre a camada de base e a capa; - Cargas estáticas (depressões); - Concreto asfáltico solto(deslocamentos) 	<ul style="list-style-type: none"> - nada a fazer; - selagem de trinca - impermeabilização - Lama asfáltica - misturas a frio ou a quente, delgada; - intervenções em áreas específicas ou intervenção localizada.

NOTA: Adaptado do NDOR(27)

Tabela 2.1 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos flexíveis (continuação)

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
4. Trilha de roda	Trata-se de uma depressão superficial na trilha de roda ou deformação no subleito função da cargas de veículos	- mistura com Qualidade pobre - Suporte insuficiente; - Procedimentos de construção, impróprios	- nada a fazer; - impermeabilização - Lama asfáltica - misturas a frio ou a quente, delgada
5. Excesso de asfalto	Trata-se de uma superfície lisa, brilhante, gordurosa e reflexiva, pegajosa quando quente	- Problemas de dosagem (asfalto ruim, baixo índice de vazios, etc); - Práticas impróprias de construção; - Pavimentando com excesso de asfalto	- nada a fazer; impermeabilização - lama asfáltica - misturas a frio ou a quente, delgada

NOTA: Adaptado do NDOR(27)

Das experiências em campo realizadas pelo Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27), concluiu-se que a chave da preservação de um pavimento é a manutenção. Desta conclusão se chegou aos ciclos de manutenção e restauração para Pavimento Flexível decorrentes de intervenções generalizadas, apresentados no Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Ciclos de vida de manutenção e restauração de pavimento flexível

Tratamento	Expectativa de vida (anos)
Selar trincas/enchimento	3 – 5
Selagem contra neblina	1 – 4
Selagem referente a atrito	2 – 5
Selagem ref. penetração de umidade	3 – 8
Impermeabilização	3 – 6
Micro revesti mento	3 – 8
Lama asfáltica (1’')	1 – 4
Reciclagem “in situ” a frio	8 – 12
Reciclagem “in situ” quente	3 – 6
Camada de asfalto frio	3 – 5
Camada de asfalto quente(1’')	5 – 8
Reforço espesso(5’')	8 – 15
Reconstrução total	+20

NOTA: Adaptado do NDOR (27)

O que se pode observar, Portanto, tanto da Tabela 2.1 que mostra os processos de deterioração e sugestões de recuperação quanto da tabela 2.2. que apresenta expectativas de vida para o tipo de tratamento que se utiliza em uma intervenção, elaborado pelo Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27), é o bom senso que deve nortear uma análise de desempenho de um pavimento flexível.

Portanto, definir o momento em que se fazem necessárias intervenções nos Pavimentos Flexíveis de forma a aumentar seu ciclo de vida implica em observar o desempenho de estruturas de pavimentos que foram implantadas na área e seu comportamento em face às tensões e deformações decorrentes das condições climáticas, mudanças decorrentes das características do nível de tráfego, etc.

O Brasil tem-se utilizado da experiência de outros países em seus estudos sobre o desempenho dos pavimentos Rígidos. Ainda assim, tem desenvolvido estudos em pavimentos rígidos que tem sido bastante útil na definição de estrutura de Pavimentos Rígidos e expectativas de vida para o tipo de tratamento que se utiliza em uma intervenção. Segundo PEREIRA (28), PITA, DUTRA e PENNA (29), retrações plásticas e térmicas na placa, carreamento de finos sob as placas e esborcinamento de juntas são alguns dos principais elementos causadores de deterioração dos Pavimentos Rígidos. Já segundo BALBO (30), os principais processos de deterioração são: irregularidades, falta de juntas, esborcinamentos de juntas e trincas de fadiga.

De acordo com a norma DNER-48 (31), os defeitos em Pavimentos Rígidos estão classificados através de graus de severidade e de densidade de ocorrência.

Estudos desenvolvidos por GARNETT NETO (32) indicaram o alçamento de placas em alto grau de severidade como menos prejudicial ao pavimento do que placas divididas com baixo grau de severidade, embora a norma do DNIT (31) considere o contrário. Envolve a possibilidade da execução de resselagem de juntas antes do término do prazo de 20 anos previsto para o dimensionamento inicial. Admite demolição e reconstrução total no caso de placas divididas e de fissura linear em alto grau de severidade. A política de intervenção desenvolvida por GARNETT NETO (32) está apresentada no fluxograma na Figura 2.5, a seguir.



Figura 2.5. Política de intervenção desenvolvida por GARNETT NETO (32)

Segundo CARVALHO (33), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) divide os defeitos dos Pavimentos Rígidos em dois tipos: os mais freqüentes e os de ordem funcional. Os defeitos mais freqüentes são: fissuras lineares e de canto, esborcinamento de juntas, placas divididas, quebras de canto e buracos. Os defeitos de ordem funcional são: escamação e desgaste superficial, bombeamento, assentamentos, desnivelamento pavimento – acostamento e defeitos na selagem das juntas. Portanto, processos de deterioração e sugestões de recuperação, visando dar uma idéia de como tem sido considerado os desgastes, suas possíveis causas e o tratamento proposto foi objeto também de desenvolvimento pelo Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27).

A Tabela 2.3 apresenta a seguir, as recomendações do Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27) com as respectivas adaptações da ABCP, do tratamento recomendado pelo DNER-ES 328/97 (34) e por GARNETT NETO (32), para os processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos rígidos.

Tabela 2.3 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos rígidos

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
1.Fissuras lineares e canto			
1.1.fissuras superficiais	Fissuras de pequena abertura inferior a 0,5mm de comprimento limitado e, incidência aleatória, em ângulos de 45° a 60° em relação a maior dimensão da placa	Processo inadequado de cura inicial, decorrente da velocidade de evaporação da água superficial, superior à de exsudação do concreto	Especificações do DNIT(34) indicam, para fissuras de até 1 mm, limpeza e injeção de resina à base de epóxi, em fissuras passivas e, selantes elastoméricos em fissuras ativas.
1.2.fissuras transversais	Prolonga-se por toda a profundidade da placa e, aparece próximo à junta transversal (aproximadamente a 30 cm desta)	Retração volumétrica nas primeiras idades, pouca profundidade da ranhura, condições climáticas não previstas em projeto, subdimensionamento, insuficiência de suporte da fundação e mau funcionamento da barra de transferência de carga	Demolição e reconstrução total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica, para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstrução de toda a placa com cimento ARI
1.3. fissuras longitudinais	Fissuras que ocorrem próximas à junta longitudinal do pavimento	Atraso na abertura da junta longitudinal, pouca profundidade da ranhura, assentamento do material de sub-base ou subleito	Demolição e reconstrução total ou parcial de placas GARNETT NETO (32),indica, para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstrução de toda a placa com cimento ARI
1.4. Fissuras de canto	Fissuras que ocorrem nos cantos das placas	Falta de dispositivos eficientes de transmissão de carga, subdimensionamento ou recalques diferenciais da fundação.	Demolição e reconstrução total ou parcial de placas GARNETT NETO (32), indica, para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstrução de toda a placa com cimento ARI

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO (32)

Tabela 2.3 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos rígidos (continuação)

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
1.continuação			
1.5. fissuras profundas e, generalizadas	Fissuras abertas, de comprimento variado, de ocorrência aleatória e, apresentando bordos esborcinados	Emprego de concreto de baixa Qualidade, incapaz de resistir aos vários esforços solicitantes, subdimensionamento e, fundação com baixa capacidade de suporte.	Demolição e reconstr. total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstr. de toda a placa com cimento ARI.
2.Esborcinamento de juntas	Quebra de bordos das juntas transversais	Infiltração de água, penetração de material incompressível pela ranhura, ineficácia das barras de transferência sob ação de tráfego pesado.	Especificações do DNIT(34) indicam demolição e remoção das partes soltas, limpeza enérgica das superfícies, aplicação de pintura de ligação à base de epóxi e, concreto com consumo de cimento 350Kg/m ³ , processo de cura química, e, cura com pano úmido até o 7º dia. Argam. do tipo autonivelantes são permitidas, aplicadas segundo o fabricante. Selantes de juntas após recomposição.
3.Placas divididas e quebras de cantos	Fissuras abertas, que atingem toda a espessura de placa com ocorrência de bordos esborcinados.	Função do agravamento e evolução das fissuras lineares e de canto, devido à percolação de água e penetração de material não sujeito à compressão. Associado à deformação da placa em decorrência de sobrecargas de veículos, provoca aumento da fissura na larg. e prof.	Demolição e reconstr. total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstr. de toda a placa com cimento ARI. Não se faz necessário a delimitação da área de demolição.

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO (30)

Tabela 2.3 - Processos de deterioração e sugestões de recuperação de pavimentos rígidos (continuação)

TIPO DE DESGASTE	DESCRIÇÃO RESUMIDA	POSSÍVEIS CAUSAS	TRATAMENTO PROPOSTO
4.Buracos	Trata-se da perda de concreto na superfície da placa com área e profundidade bem definidas	Progressão de fissuras profundas, generalizadas desgaste superficial e escamação, e decorrente do emprego de concretos de má qualidade	Sem recomendação, talvez, por serem inadmissíveis, uma vez que a norma brasileira é originária dos EUA.
5.Escamação e desgaste superficial	Caracteriza-se pelo deslocamento da argamassa na superfície da placa e, deslocamento do agregado graúdo, em áreas bem definidas	Emprego de concreto de baixa qualidade; uso de agregados sujos(argila ou pó) , erro de execução - excesso de vibração do concreto; e, com o passar do tempo, surgimento de buracos	Demolição e reconstr. total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstr. de toda a placa com cimento ARI
5.Assentamento	Caracteriza-se por recalques do tipo diferenciais, às vezes, apresentando superfície ondulada formação de fissuras transv. E long.na região deformada	Recalque da fundação	Demolição e reconstr. total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstr. de toda a placa com cimento ARI
6. Desnívelamento entre o pavimento e o acostamento	Caracteriza-se pelo degrau entre o acostamento e o bordo do pavimento	Assentamento do acostamento ou , erosão. Normalmente é acompanhada pela separação das bordas do pavimento	Interrupção do processo de erosão, por drenagem localizada , injeção de argamassa ou reconstrução total ou parcial de placas GARNETT NETO (32) ,indica para reparos maiores de 0,25m ³ , reconstrução de toda a placa com cimento ARI
7.Defeito de selagem de junta	Caracteriza-se pela falhas do mastique contra penetração de material	Rompimento do selante, perda de aderência, ação da vegetação, quantidade deficiente de material selante	Implantação de novo ligante com fator de forma adequado, que varia em função da largura da junta

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO (30)

O Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27) recomenda os seguintes ciclos de manutenção e restauração para Pavimentos Rígidos, decorrentes de intervenções localizadas, apresentados no Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Ciclos de vida de manutenção e restauração de pavimento rígido

Tratamento	Expectativa de vida (anos)
Trinca & selar junta /enchimento de fissuras	4 – 7
“Full Depth” (Flexível) parcial e reparo de placa/ junta	10 – 15
Reforço HMA (1 ½”)	6 – 10
Mudjacking (<i>bombeamento de um “grout” grosso</i>)	10 – 15
Serragem de junta (redução do tamanho de placa)	12 – 15
Cross Stitching (<i>introdução de barras de aço reforçadas com injeção de epóxi, “in situ”</i>)	10 – 15
Reforço HMA (5”)	8 – 12
Refazer placa	+20

NOTA: Adaptado do NDOR (27)

O que se pode observar, Portanto, tanto da Tabela 2.3 que mostra os processos de deterioração e sugestões de recuperação quanto da tabela 2.4. que apresenta expectativas de vida para o tipo de tratamento que se utiliza em uma intervenção, elaborado pelo Departamento Estadual de Rodovias de Nebraska (27), é o bom senso que deve nortear uma análise de desempenho de um pavimento Rígido, à semelhança do que ocorre em Pavimentos Flexíveis, considerando que as intervenções neste são generalizadas e, em Pavimentos Rígidos as intervenções são localizadas, implicando muitas vezes, em custos elevados, conforme demonstrou GARNETT NETO (32).

Pode-se concluir também, como consequência, que definir o momento em que se fazem necessárias intervenções nos Pavimentos Rígidos de forma a aumentar seu ciclo de vida implica em observar o desempenho de estruturas de pavimentos que foram implantadas na área e seu comportamento em face às tensões e deformações decorrentes das condições climáticas, mudanças decorrentes das características do nível de tráfego, etc.

3. ESTUDOS ECONÔMICOS EM PAVIMENTOS

3.1. A experiência adquirida

Estudos econômicos em pavimentos, segundo KAAN *et al.* (2), têm envolvido conceitos de análise de custo de ciclo de vida de pavimentos (*Life Cycle Cost Analysis* – LCCA) introduzidos nos Estados Unidos da América em 1847, quando Gillespie publicou o *Manual sobre princípios e práticas de se fazer rodovias*. Ele associou o custo efetivo de uma rodovia ao projeto que desse o maior retorno, associando portanto o investimento à construção e à manutenção.

O Brasil começou a se preocupar com os estudos econômicos em pavimentos, segundo QUEIROZ (35), na pesquisa conduzida pelo IPR, na qual se quantificou o custo do usuário e o custo operacional do veículo, através de modelos empíricos que alimentaram o banco de dados do modelo *Highway Development and Management* (HDM), atualmente na versão IV, em uso pelo Banco Mundial para a liberação de empréstimos aplicados às rodovias.

A Associação Americana de Rodovias e Transportes Oficiais Estaduais (*American Association of State Highways and Transportation Officials* – AASHTO), em seu manual de

projeto (22), apresenta conceitos de análise de custo de ciclo de vida de pavimentos como forma de avaliação econômica e ferramenta de suporte a tomadas de decisão.

ZEMINIAN (18) comparou custos entre Pavimentos Rígidos e Pavimentos Flexíveis, relacionando-os ao VMD e ao Número “N” do DNIT, para condições específicas de contorno, obtendo sobre o tipo de pavimento a ser adotado as seguintes opções:

- $N \leq 10^6/VMD \leq 1.100$ – Pavimento Flexível;
- $10^6 < N \leq 10^7/1.100 < VMD \leq 9.500$ – requer análise de viabilidade, função do projeto;
- $N > 10^7/VMD > 9.500$ – tendência à viabilidade de Pavimento Rígido;
- $N > 5 \times 10^7/VMD > 13.000$ – Pavimento Rígido

PITA (36) desenvolveu análises comparativas de custo entre Pavimentos Flexíveis e Rígidos, considerando períodos de vida útil de 15 anos para Pavimentos Flexíveis e de 30 anos para Pavimentos Rígidos, e concluiu serem os Pavimentos Rígidos mais vantajosos em longo prazo e, em casos específicos, já a custo inicial.

CARVALHO, GROSSI e IGNATI (37) desenvolveram estudos de custos comparativos entre Pavimentos Rígidos e Flexíveis, em áreas críticas de solicitação de tráfego, concluindo pelas vantagens do uso do Pavimento Rígido.

DOMINGUES e NISHYAMA (38) desenvolveram estudos econômicos comparativos entre um trecho de Pavimento Flexível e um trecho de Pavimento Rígido da Rodovia Imigrantes, levando em conta o desempenho durante 20 anos, concluindo serem os Pavimentos Rígidos mais vantajosos que os Pavimentos Flexíveis.

Estratégias de custos de manutenção e restauração dos Pavimentos Flexíveis, envolvendo previsão de defeitos e irregularidades, através de relações empírico-mecanísticas, como as em uso pelo DNIT, foram desenvolvidas e adaptadas por PEDRAZZI (21) em processo de ranqueamento, visando caracterizar ciclos de vida útil em Pavimentos Flexíveis.

GARNETT NETO (32) desenvolveu estudos econômicos, relacionando variações de custos de manutenção em função de determinados períodos de intervenção, e concluiu que a longevidade do pavimento de concreto está ligada à correta previsão de sua manutenção, decorrente da ação de agentes danosos.

SAVERI (39) desenvolveu estudos em Pavimentos Rígidos, para diversos tipos de subleito e de tráfego, nos quais os custos de manutenção e reabilitação foram menores para as estruturas dimensionadas pelo método da AASHTO/86, adotado pelo DNIT, do que para as dimensionadas pelo método da PCA/66. Caracterizou como sendo os elevados custos iniciais a causa para se justificar a não-utilização de Pavimentos Rígidos, em detrimento do Pavimento Flexível.

Segundo o artigo “Asphalt Industry Update Overview”, publicado em janeiro de 2002 pela *National Asphalt Pavement Association* (NAPA), foram estudados, aproximadamente, 94% das estradas federais e das rodovias estaduais americanas com Pavimento Flexível, creditando-se a longevidade deste à estrutura, que dispõe de bom projeto, boa construção e, fundamentalmente, materiais de boa qualidade na base e na sub-base.

No Brasil, experiência semelhante de bom projeto, boa construção, materiais de boa qualidade na base e na sub-base de Pavimento Flexível, com TSD, pode ser observada no trecho da BR 174/364, entre Cáceres e Pontes de Lacerda, com mais de 15 anos de uso, sem falhas estruturais, segundo o engenheiro Fabrício J. M, da ECL – Engenharia, Consultoria e Economia S.A., responsável pela análise de desempenho do trecho.

Diversos cenários, envolvendo combinações de dimensionamento inicial e respectivas intervenções de manutenção e restauração em Pavimentos Flexíveis e Rígidos, têm sido objeto de estudos econômicos. Entretanto, considerações sobre a influência das variações do preço do asfalto e do preço do cimento nos custos de ciclo de vida dos pavimentos, através de diversos cenários econômicos, comparativos de intervenções generalizadas em Pavimentos Flexíveis e localizadas em Pavimentos Rígidos, não foram ainda desenvolvidas.

3.2. O Valor Presente Líquido como parâmetro de avaliação econômica

Segundo ADLER (40), a importância de se desenvolver estudos econômicos em um empreendimento antes de este se materializar está na possibilidade de se avaliar os custos e os benefícios econômicos, proporcionando uma forma de identificar se os benefícios líquidos propostos serão, pelo menos, iguais àqueles que poderiam ser obtidos em outras oportunidades de investimento, esgotando-se todas as alternativas ou cenários possíveis.

Referem PARK e SHARP-BETTE (41) que estudos econômicos envolvem tempo e risco de capital.

No dizer de HIRSCHFELD (42), estudos econômicos envolvem a correta aplicação de métodos de análise de alternativas econômicas vistas como indispensáveis para a melhor alocação de recursos disponíveis, compatibilizando riscos admissíveis com retornos financeiros aceitos como satisfatórios.

Estudos econômicos têm sido utilizados em empreendimentos nos quais o tempo de retorno e o risco do capital, decorrentes da avaliação de diversas alternativas, permitem ao tomador de decisão optar pelo cenário que proporcione o maior retorno de oportunidade de capital.

Não se pode, entretanto, confundir estudos econômicos com análise financeira, que compara receitas e despesas com a taxa de retorno financeiro.

A análise financeira envolve benefícios econômicos, tais como investimento inicial, custo de manutenção, custo operacional e custo do usuário, sendo o termo Taxa Interna de Retorno (TIR) mais adequado para tal finalidade e Taxa de Oportunidade de Capital um parâmetro de comparação com a TIR. Entretanto, os benefícios econômicos são de difícil observação, ainda que decorrentes de desdobramentos mensuráveis.

No campo da análise financeira, um empreendimento será viável sempre que a taxa de juros de mercado se situar abaixo do valor da TIR. No caso específico de múltiplos cenários, a opção será sempre pelo cenário que apresentar maior TIR, haja vista ser essa taxa a que oferecerá o maior benefício por unidade de capital investido.

O estudo econômico, entretanto, analisa, para cada cenário, o parâmetro Valor Presente Líquido (VPL), que, neste caso, estará envolvido na escolha do tipo de pavimento mais vantajoso como elemento do processo de equivalência, de forma a trazer todos os valores decorrentes dos cenários desenvolvidos a um mesmo patamar de referência monetária e temporal, e não se preocupa com a taxa de juros de mercado, que, dentro do método do VPL, estará sempre abaixo da TIR.

Pelo método do VPL, o melhor projeto de investimento será aquele que tiver o maior VPL. Pelo método da TIR, o melhor projeto de investimento pode não ser o que tiver maior TIR, que está diretamente dependente do custo de capital, igual à taxa de oportunidade.

Segundo LAPPONI (43), para projetos mutuamente excludentes, como é o caso em questão, a aplicação direta do VPL ou da TIR como método de decisão poderá resultar em recomendações diferenciadas.

Para projetos mutuamente excludentes, LAPPONI (43) sugere o emprego do procedimento denominado *análise incremental*, que leva em consideração o VPL e a TIR como duas variáveis dependentes. Esse autor enfatiza que tal procedimento permite escolher o melhor cenário, tendo como objetivo a maximização do retorno do capital investido, possibilitando recomendar um cenário com maior investimento inicial para o qual o incremento de capital seja financeiramente justificável.

Entretanto, o cálculo da TIR envolve a aplicação de método numérico de tentativa e erro. Trata-se, portanto, de um método das aproximações sucessivas, utilizando-se de diferentes taxas de juros de forma a se conseguir, em um fluxo de caixa, que o VPL seja igual a zero.

O VPL, contudo, é uma variável dependente das variáveis independentes, e envolve a taxa de desconto ou *Discount Rate*, segundo KAAN *et al.* (2), referindo-se à taxa de juros decorrente da oportunidade de capital, ao investimento inicial, às receitas e despesas e ao período considerado de análise.

O termo *taxa de Amortização* (Ta) adotado neste estudo é mais abrangente. Tem como objetivo caracterizar não só a taxa de juros decorrente da oportunidade de capital, como também ser esta a mesma taxa utilizada como parâmetro de Amortização do capital investido ao longo do empreendimento, no qual se observa depreciação, inerente a processos de financiamento ao longo do tempo, derivada de constante utilização, como é o caso de pavimentos.

Dessa forma, LAPPONI (43) recomenda, em projetos que exigem mais de 1 (um) ano de desembolso, como é o caso de pavimentos, o emprego da expressão geral do VPL, sem considerar o elemento benefícios, que envolve receitas e despesas.

A ferramenta que permite trazer todos os valores a um mesmo patamar de referência monetária e temporal, segundo ADLER (40), PARK e SHARP-BETTE (41), HIRSCHFELD (42) e LAPPONI (43), que melhor traduz os objetivos de análise econômica, de forma simples e direta, é a valoração de receitas e despesas, através do VPL, decorrente do processo de equivalência.

ADLER (40) enfatiza que os benefícios são de difícil aferição, embora de obtenção direta, como é o caso do atributo conforto ao usuário ou o parâmetro tempo de viagem, ou ainda o atributo desgaste do veículo.

Ressalta ADLER (40) que a maior parte dos benefícios em pavimentos tem como objetivo final a redução do custo de transporte, que tende a lançar mão de grande número de usuários por um período infinito de tempo, o que dificulta previsões em longo prazo. Portanto, embora o VPL envolva a relação entre benefício e custo, essa relação não será considerada nesta dissertação. Deixa claro ainda que, sendo os benefícios os mesmos, dentro desse ambiente de cenários alternativos, basta buscar o de menor custo, caracterizado pelo VPL.

Segundo BISCA (44), sendo a TIR igual à T_a e o VPL igual a zero, quanto maior a TIR, maior o benefício por unidade de capital investido. Afirma ele que, no ambiente das incertezas em um país do terceiro mundo, há sempre a preocupação do investidor com o período em que os benefícios acumulados se igualam ao capital investido. Entretanto, ao envolver a obtenção da TIR, remete o problema à aplicação do método numérico de tentativa e erro, que é um método das aproximações sucessivas, utilizando-se de diferentes taxas de juros de forma a se conseguir, em um fluxo de caixa, que o VPL seja igual a zero.

Ainda assim, em ambientes futuros, nos quais as estimativas das variáveis independentes sofrem flutuações, de forma isolada ou em conjunto, e podem afetar a análise de decisão, o emprego do parâmetro VPL se torna adequado e mais do que suficiente como solução ideal em estudos econômicos de múltiplos cenários de aceitação ou rejeição, ou seja:

n

$$VPL = \sum_{t=0}^n I_t \cdot [(1 + T_a)^{-t}], \text{ onde:} \quad (3.1)$$

t = 0

I = Investimento em um tempo qualquer, caracterizado pelas intervenções de manutenção e restauração; n = tempo considerado ou período; T_a = taxa de amortização ou taxa de juros, considerada como taxa de oportunidade de capital.

Apresentada a experiência adquirida com os estudos econômicos realizados em pavimentos e identificado o parâmetro econômico VPL como suficiente para caracterizar o momento em que o Pavimento Rígido se torna mais interessante, do ponto de vista econômico, que o Pavimento Flexível, passa-se, a seguir, a abordar a metodologia proposta, apresentando um fluxograma de atividades para o desenvolvimento de estudos econômicos, considerando, no dimensionamento de pavimentos e limitações decorrentes, os cenários de intervenções (manutenção e restauração), as flutuações de câmbio, os preços do petróleo e seus reflexos no preço do asfalto, as flutuações no preço do cimento e as composições de custos de materiais e serviços.

4. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE TIPOS DE PAVIMENTOS NOVOS

4.1 – Descrição do Estudo Desenvolvido

O experimento objeto deste Capítulo tem como objetivo básico identificar um possível ponto de equilíbrio econômico entre o Pavimento Flexível e o Pavimento Rígido novos, com base em séries históricas do preço do CAP e do cimento Portland e a influência desse peso histórico no custo m^3/CAUQ e no custo m^3/placa de Concreto de Cimento Portland.

Portanto, objetiva caracterizar o momento em que o pavimento de rodovias do tipo rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento do tipo Flexível, considerando períodos de 10 anos para Pavimento Flexível e 20 anos para Pavimento Rígido. Para tanto, utiliza-se de cenários nos quais os materiais são variados em função do nível de tráfego e do suporte de subleito. Envolvem-se nesse processo a estrutura de pavimento inicial e as respectivas intervenções ao longo de seu ciclo de vida útil, para determinados custos/ m^2 e taxas de Amortização (T_a) referenciada a um mesmo patamar monetário e temporal via Valor Presente Líquido (VPL).

A flutuação do preço da matéria-prima principal que compõe a estrutura de um pavimento Flexível (CAP) e Rígido (Cimento Portland) é analisada considerando as variações cambiais e sua influência no preço do m^3/CAUQ e no preço m^3/placa , através de série histórica disponível no DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo.

Séries históricas do Cimento Portland fornecidas pelo SINDUSCON-RJ e do cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) obtidas junto à PETROBRAS, de JAN/1997 a DEZ/2005, são utilizadas no processo de regressão de pontos de máximo e mínimo, visando verificar se há alguma correlação entre as flutuações cambiais e variações mínimas do cimento em US\$/ton cim e máximas do CAP em US\$/ton CAP.

Analisa-se, em paralelo, o peso (%) do Cimento Portland e do asfalto (CAP) na composição de custo do DER-SP (45) e na composição de MUDRICK (46) na definição do Custo US\$/m³.

De posse do Custo US\$/m³, da matéria-prima de maior peso, tanto para Pavimento Flexível como para Pavimento Rígido, dimensionam-se as estruturas de pavimentos, considerando tráfegos compatíveis, variando o CBR de subleito e mantendo-se fixa a sub-base de BGS em 10 cm, para o caso do Pavimento Rígido. Definem-se então, inicialmente, o preço unitário da estrutura do pavimento, tendo como referência o DER-SP (US\$/m²), analisando-se as relações de preços entre Pavimento Rígido / Pavimento Flexível.

4.2. Avaliação econômica dos preços unitários

4.2.1. Série de Preços Unitários

A Tabela 4.1, abaixo, apresenta a série histórica disponível no DER/SP referente aos preços unitários do m³/CAUQ e do m³/placa de Cimento Portland, durante o período de MAR/2002 a DEZ/2005. O início da série histórica em MAR/2002, e não em data anterior, deve-se ao fato de ser essa a data inicial disponível pelo DER/SP em seu banco de dados. A moeda utilizada na cotação é o dólar americano, tendo sempre como referência o último dia do mês de cada valor do real frente ao dólar, da série histórica.

Dessa forma, com tais dados, desenvolveu-se a Figura 4.1, abaixo, na qual se pode observar que a diferença de valores entre o m³/placa e o m³/CAUQ mantém certa constância, caracterizando uma tendência de essa diferença ser mantida ao longo do tempo. Portanto, são apresentados a seguir a Tabela 4.1 e a Figura 4.1, de forma a permitir uma melhor visualização do que se pretende demonstrar.

Tabela 4.1 - Série histórica de preços unitários do asfalto e do cimento

Série Histórica	m ³ /Placa(US\$)	m ³ /CAUQ (US\$)
MAR/02	117,66	107,27
JUN/02	112,75	104,99
SET/02	102,64	90,19
DEZ/02	94,00	86,76
MAR/03	98,15	91,84
JUN/03	126,17	111,96
SET/03	124,23	109,63
DEZ/03	127,24	113,25
JAN/04	130,46	112,67
MAR/04	130,37	115,75
JUN/04	140,13	109,91
SET/04	153,78	117,60
DEZ/04	169,75	125,08
MAR/05	171,38	124,48
JUN/05	213,72	132,82
SET/05	205,70	107,58
DEZ/05	198,58	94,58

NOTA: Adaptado do DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês

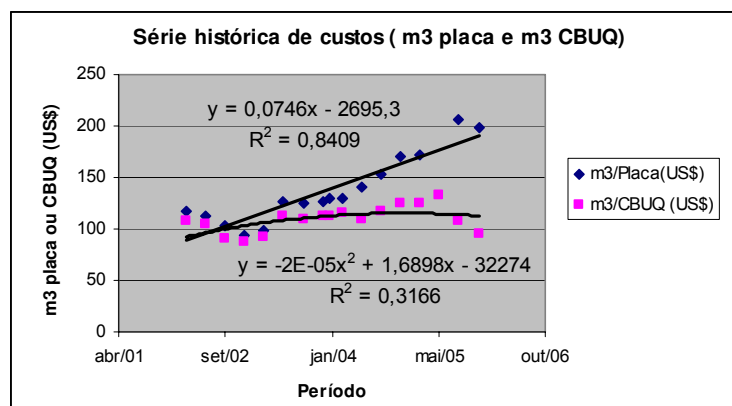


Figura 4.1 - Série histórica de preços unitários do asfalto e do cimento

O que se pode observar pela Figura 4.1 é a tendência, entre MAR/2002 e DEZ/2004, de ocorrerem pequenas diferenças de preço entre o m^3/placa (US\$) e o m^3/CAUQ (US\$), tendo como limite inferior para o mês de DEZ/2002 valor da ordem de 8% e como limite superior em DEZ/2004 valor da ordem de 35%. A partir de então, houve uma tendência em se aumentar essa diferença, chegando em DEZ/2005 a valor aproximadamente da ordem de 110%, com características indicativas de continuar aumentando.

O interessante a se observar é que a diferença se deu no aumento do m^3/placa , quando deveria se dar no aumento do m^3/CAUQ , haja vista os incrementos significativos no preço do barril de petróleo que vêm ocorrendo.

4.2.2. Análise crítica de diferenças

A Tabela 4.2 e a Figura 4.2, abaixo, apresentam a série histórica do custo/ton do Cimento Portland obtido junto ao SINDUSCON-RJ e do cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) obtido junto à PETROBRAS, de JAN/1997 a DEZ/2005. Com base em tais dados, procurou-se definir dos valores para mais e para menos, em percentagem, das matérias-primas cimento e asfalto, em função de uma série histórica.

O que se observa é que não há uma correlação bem definida entre a variação do custo ton/cim e o custo ton/CAP, de forma que essa variação de custo tenha correlação com o custo m^3/placa e o m^3/CAUQ . Pelo processo de regressão de pontos máximo e mínimo, pode-se considerar valor mínimo do cimento em US\$/ton cim 67,60 e valor máximo do CAP em US\$/ton CAP 547,82, decorrente dessas variações e apresentadas no final da Tabela 4.2.

Portanto, são apresentadas a seguir, nas Tabelas 4.2a a 4.2c, as séries históricas do custo/ton do Cimento Portland obtido junto ao SINDUSCON-RJ e do custo/ton do cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) obtido junto à PETROBRAS, de JAN/1997 a DEZ/2005. A Figura 4.2 permite uma melhor visualização da evolução dessas séries históricas.

Tabela 4.2a - Valores de máximo e mínimo em percentual do CAP e o Cimento Portland

VALORES DA SÉRIE			PONTOS DE	MÁXIMO E	MÍNIMO	
MES	US\$/tonCim	US\$/TtonCAP		CAP(%)		CIMENTO(%)
JAN/97	105,51	112,58	4,8879	4,54	5,3623671	5,35
FEV/97	105,51	112,58	2,4358	2,21	5,2817671	5,27
MAR/97	104,86	130,93	18,571	16,53	4,5652731	4,55
ABR/97	104,08	132,84	18,0289	15,70	3,7008639	3,69
MAI/97	103,69	134,49	17,3059	14,77	3,23045	3,22
JUN/97	102,99	136,87	17,2338	14,41	2,4509117	2,44
JUL/97	102,34	138,43	16,4208	13,46	1,7309223	1,72
AGO/97	101,80	139,94	15,4787	12,44	1,1009989	1,09
SET/97	101,11	154,27	27,3566	21,56	0,3373346	0,33
OUT/97	100,58	153,74	24,4536	18,91	-0,276874	-0,27
NOV/97	109,11	153,44	21,7015	16,47	8,1772474	8,10
DEZ/97	108,35	151,54	17,4285	13,00	7,3406445	7,27
JAN/98	107,74	150,28	13,71297459	10,04	6,647171	6,58
FEV/98	107,16	149,34	10,31954715	7,42	5,9892932	5,92
MAR/98	115,31	147,92	6,692413503	4,74	14,064062	13,89
ABR/98	114,67	146,83	3,149379037	2,19	13,342684	13,17
MAI/98	113,94	145,63	-0,43023928	-0,29	12,531045	12,36
JUN/98	121,96	143,16	-5,351268	-3,60	20,477143	20,18
JUL/98	121,24	140,47	-10,4155385	-6,90	19,680913	19,38
AGO/98	120,53	137,81	-15,527397	-10,13	18,890493	18,59
SET/98	119,50	135,98	-19,8064275	-12,71	17,781008	17,48
OUT/98	110,09	134,00	-24,1540828	-15,27	8,2929509	8,15
NOV/98	117,82	132,52	-28,0933694	-17,49	15,932866	15,64
DEZ/98	117,28	158,10	-4,88673444	-3,00	15,321899	15,03
JAN/99	116,14	157,57	-7,86166015	-4,75	14,102919	13,82
FEV/99	93,55	128,54	-39,3438024	-23,43	-8,57633	-8,40
MAR/99	73,03	126,28	-43,8183281	-25,76	-29,15991	-28,53
ABR/99	73,96	145,37	-27,1861588	-15,76	-28,3106	-27,68
MAI/99	76,60	155,84	-19,0837747	-10,91	-25,75184	-25,16
JUN/99	77,22	163,63	-13,7476703	-7,75	-25,20904	-24,61
JUL/99	73,69	162,62	-17,1344447	-9,53	-28,82391	-28,12
AGO/99	77,78	162,95	-19,2548678	-10,57	-24,8102	-24,18
SET/99	74,37	169,98	-14,6768461	-7,95	-28,29976	-27,56
OUT/99	79,09	168,63	-18,4028719	-9,84	-23,662	-23,03
NOV/99	81,34	169,41	-20,0703626	-10,59	-21,48935	-20,90
DEZ/99	88,11	171,60	-20,2569043	-10,56	-14,80377	-14,39
JAN/00	97,61	173,51	-20,7967512	-10,70	-5,38151	-5,23
FEV/00	99,92	178,72	-18,035918	-9,17	-3,148417	-3,05
MAR/00	101,44	186,43	-12,6275082	-6,34	-1,703359	-1,65
ABR/00	103,35	194,56	-6,94079622	-3,44	0,1206044	0,12
MAI/00	101,71	207,58	3,703975207	1,82	-1,598292	-1,55
JUN/00	98,45	215,60	9,272539244	4,49	-4,938571	-4,78
JUL/00	99,51	227,38	18,67473638	8,95	-3,94981	-3,82
AGO/00	100,14	235,52	24,36483447	11,54	-3,399247	-3,28
SET/00	99,52	249,32	35,7099491	16,72	-4,100006	-3,96
OUT/00	97,93	255,77	39,78516578	18,42	-5,775293	-5,57

NOTA: Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês

Tabela 4.2b - Valores de máximo e mínimo em percentual do CAP e o Cimento Portland

VALORES DA SÉRIE			PONTOS DE	MÁXIMO E	MÍNIMO	
MES	US\$/tonCim	US\$/TtonCAP		CAP(%)		CIMENTO(%)
NOV/00	101,13	262,90	44,463753	20,36	-2,649337	-2,55
DEZ/00	97,57	259,98	39,17025049	17,74	-6,290104	-6,06
JAN/01	101,86	257,92	34,66397705	15,53	-2,077587	-2,00
FEV/01	102,29	259,47	33,76137981	14,96	-1,730974	-1,66
MAR/01	99,72	259,85	31,9298285	14,01	-4,37929	-4,21
ABR/01	100,35	256,57	26,18991101	11,37	-3,822073	-3,67
MAI/01	95,89	250,04	17,29006006	7,43	-8,35891	-8,02
JUN/01	96,05	248,92	13,71677161	5,83	-8,281209	-7,94
JUL/01	92,70	228,35	-9,22408438	-3,88	-11,71046	-11,22
AGO/01	89,08	227,44	-12,5837711	-5,24	-15,41686	-14,75
SET/01	91,60	228,39	-14,0840559	-5,81	-12,97288	-12,41
OUT/01	86,27	225,16	-19,6893238	-8,04	-18,38317	-17,57
NOV/01	87,42	217,22	-30,0809054	-12,16	-17,30996	-16,53
DEZ/01	93,98	213,17	-36,5114842	-14,62	-10,82882	-10,33
JAN/02	105,41	210,50	-41,6308272	-16,51	0,5189218	0,49
FEV/02	109,44	241,00	-13,5836725	-5,34	4,4655213	4,25
MAR/02	107,27	236,22	-20,5710866	-8,01	2,2254767	2,12
ABR/02	110,79	243,98	-15,2725101	-5,89	5,6644597	5,39
MAI/02	112,07	246,80	-14,8165379	-5,66	6,8710963	6,53
JUN/02	104,99	231,21	-32,8658158	-12,45	-0,292184	-0,28
JUL/02	95,86	230,99	-35,4605507	-13,31	-9,505232	-9,02
AGO/02	95,86	260,83	-8,07003088	-3,00	-9,585832	-9,09
SET/02	90,19	268,74	-2,61058142	-0,96	-15,32928	-14,53
OUT/02	86,69	277,38	3,656897001	1,34	-18,90643	-17,90
NOV/02	85,89	284,62	8,446948852	3,06	-19,79416	-18,73
DEZ/02	86,76	296,72	18,17279072	6,52	-18,9997	-17,97
JAN/03	90,48	295,48	14,47990416	5,15	-15,35685	-14,51
FEV/03	97,37	294,60	11,14689418	3,93	-8,546443	-8,07
MAR/03	91,84	301,26	15,58791286	5,46	-14,15296	-13,35
ABR/03	95,22	308,12	20,00503992	6,94	-10,85209	-10,23
MAI/03	104,73	314,80	24,30333529	8,37	-1,423042	-1,34
JUN/03	111,96	336,53	43,58521033	14,88	5,7269875	5,39
JUL/03	114,45	333,56	38,2377	12,95	8,1418902	7,66
AGO/03	115,02	323,58	25,81151967	8,67	8,631756	8,11
SET/03	109,63	303,87	3,643664897	1,21	3,1630515	2,97
OUT/03	112,91	312,93	10,3363014	3,42	6,3559331	5,97
NOV/03	115,32	306,32	1,269804069	0,42	8,6940307	8,15
DEZ/03	113,25	300,82	-6,60129049	-2,15	6,5460698	6,13
JAN/04	112,67	296,67	-13,202539	-4,26	5,8815858	5,51
FEV/04	115,59	314,19	1,866763091	0,60	8,7254877	8,16
MAR/04	115,75	305,37	-9,25181313	-2,94	8,8078619	8,24
ABR/04	117,01	308,69	-8,38300525	-2,64	9,9860914	9,33
MAI/04	117,07	308,84	-10,6072047	-3,32	9,964496	9,30
JUN/04	109,91	311,23	-10,6600922	-3,31	2,7239713	2,54
JUL/04	108,67	307,74	-16,524859	-5,10	1,4129066	1,32
AGO/04	113,22	320,63	-6,09497817	-1,87	5,8813836	5,48

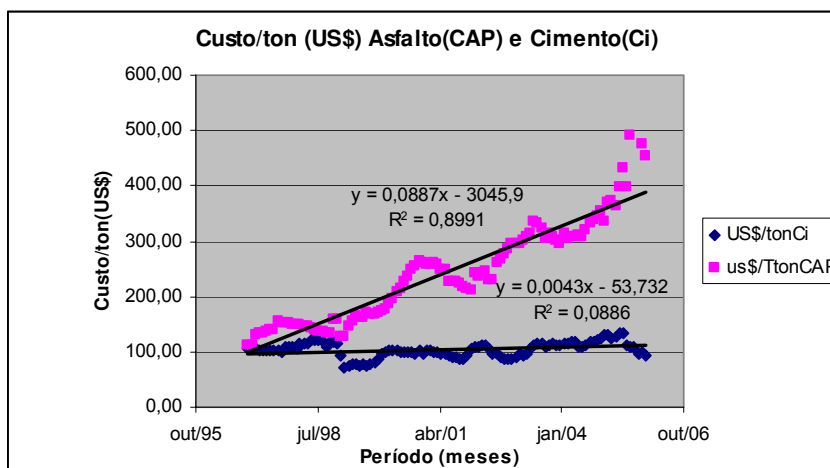
NOTA: Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês

Tabela 4.2c - Valores de máximo e mínimo em percentual do CAP e o Cimento Portland

VALORES DA SÉRIE			PONTOS DE MÁXIMO E		MÍNIMO	
MES	US\$/tonCim	US\$/TtonCAP		CAP(%)		CIMENTO(%)
SET/04	117,60	333,02	3,8516204	1,17	10,179197	9,48
OUT/04	119,18	337,48	5,937769378	1,79	11,675878	10,86
NOV/04	122,04	345,59	11,58961911	3,47	14,457065	13,44
DEZ/04	125,08	354,21	17,83658318	5,30	17,423075	16,18
Jan/05	130,22	336,38	-2,445432899	-0,72	22,478007	20,86
Fev/05	131,32	368,43	27,15356447	7,96	23,503936	21,80
mar/05	124,48	373,37	29,88311233	8,70	16,587628	15,37
abr/05	126,53	362,91	16,9689412	4,91	18,557926	17,19
mai/05	132,84	398,76	50,44867219	14,48	24,782901	22,94
Jun/05	132,82	431,58	80,81029237	23,04	24,686295	22,83
Jul/05	113,40	398,64	45,49982722	12,88	5,186832	4,79
ago/05	110,26	490,44	134,8453109	37,92	1,9714347	1,82
set/05	107,58		-358,0436	-100,00	-0,797022	-0,74
out/05	97,65		-360,4166	-100,00	-10,80252	-9,96
nov/05	99,68	476,45	113,5789665	31,30	-8,847873	-8,15
dez/05	94,58	455,15	89,91307214	24,62	-14,02572	-12,91

SINDUSCON-RJ	PETROBRAS	PREÇO MIN US\$/tonCim	PREÇO MAX US\$/TtonCAP
NOTA:			
CAP(%)	20,36		547,82
	-25,76		
CIMENTO(%)	22,94		
	-28,53	67,60	

NOTA: Adaptado do SINDUSCON-RJ (cimento) e da PETROBRAS (CAP). Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês

**Figura 4.2** - Série histórica do US\$/tonCim e do US\$/TtonCAP

O que se pode observar pelas Tabelas 4.2a a 4.2c e pela Figura 4.2 é a tendência de o custo US\$/ton CAP ir aumentado de maneira exponencial, tendo como menor valor a cotação JAN/97, em 112,58 US\$/ton CAP, e como maior valor de cotação AGO/2005, em 490,44 US\$/ton CAP, tendendo à redução. Nesse período, houve significativo aumento, de mais de 330%.

Entretanto, no mesmo período de JAN/1997 a DEZ/2005, o custo US\$/ton cim não sofreu grande alteração; passou de 73,03 US\$/ton cim em MAR/99 para 132,84 US\$/ton cim, tendendo à redução. Nesse período houve aumento de aproximadamente 80%.

O interessante a se observar é que não houve aumento significativo no custo US\$/ton cim que justificasse o aumento do m³/placa. Por outro lado, ainda que tenha ocorrido aumento significativo no custo do CAP, esse aumento não se refletiu no aumento do m³/CAUQ.

4.2.3. Avaliação dos preços unitários e identificação do estudo de equilíbrio econômico

A avaliação de preços unitários implica estudar a percentagem de participação do asfalto e do cimento no preço unitário das composições de custo, haja vista seu maior peso econômico. Portanto, a Tabela 4.3, abaixo, apresenta o peso (%) do Cimento Portland e do asfalto na composição de custo do DER/SP e de MUDRICK, adotado neste estudo.

Tabela 4.3 - Peso (%) do cimento e do Asfalto na composição de custo US\$/m³.

Item de referência na composição de custo US\$/m ³	Fonte de referência	Peso (%) do custo US\$/m ³
PAVIMENTO FLEXÍVEL		
Capa (asfalto CAP 20)	DER-SP	59
	MUDRICK	61
PAVIMENTO RÍGIDO		
Placa, $\sigma_{tf} = 4,5\text{MPa}$	DER-SP	54
	MUDRICK	56

NOTA: Adaptado da composição de custo do DER-SP e de MUDRICK. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

Por outro lado, admitindo-se o valor mínimo do cimento e o valor máximo do asfalto, decorrentes das Tabelas 4.2a a 4.2c, e considerando-se a Tabela 4.3, desenvolveu-se a Tabela 4.4, abaixo, na qual são apresentados os extremos do CAUQ e do concreto (placa) em termos de custo US\$/m³.

Tabela 4.4 - Preços extremos do CAUQ e do concreto (placa) em termos de custo US\$/m³.

Item de referência na composição de custo/m ³	Fonte de referência	Preço unitário US\$/m ³ Com os coeficientes da composição de custo	Preço unitário US\$/m ³ Com os valores majorados para o CAUQ e minorados para o concreto (placa)
PAVIMENTO FLEXÍVEL			
Capa (asfalto CAP 20)	DER-SP	140,00	156,90
	MUDRICK	142,00	159,15
PAVIMENTO RÍGIDO			
Placa, $\sigma_{tf} = 4,5\text{MPa}$	DER-SP	162,01	145,50
	MUDRICK	164,40	147,60

NOTA: Custo US\$/m². Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

Informações complementares sobre peso de material, mão-de-obra, equipamentos e encargos na composição de custos decorrentes dos preços DER/SP e MUDRICK são apresentadas na Tabela 4.5, abaixo.

Tabela 4.5 - Percentagens nos preços unitários do DER/SP e de MUDRICK

Referência	DER/SP (%)		MUDRICK (%)	
	Pav.Flexível	Pav.Rígido	Pav.Flexível	Pav.Rígido
Asfalto(CAP 20)	59		61	
Cimento Portland	-	54	-	56
Agregados (Asfalto)	14	21	12	19
Custo da Matéria Prima	73	75	73	75
Custo Oper. Equipos	19	13	19	13
Custo de Mão-de-Obra	1	5	1	5
Custo dos encargos	7	7	7	7
% TOTAIS	100	100	100	100

Pode-se observar que as variações nas composições de custo entre o DER/SP e MUDRICK são muito pequenas. Portanto, passa-se a partir de então, utilizar no desenrolar dos estudos econômicos em pavimentos as composições de custo do DER/SP, mesmo porque se está trabalhando com valores de mercado.

Para se estudar, portanto, com base nesses elementos, um ponto de equilíbrio de indiferença ou uma curva de equilíbrio econômico entre o custo/m² do CAUQ e o custo/m² da placa ao longo da vida útil do pavimento, há que se simular pelo menos 3 (três) alternativas. Tais alternativas devem considerar na abscissa a Taxa de Amortização ou Taxa de interesse (%) e na ordenada, o custo/m² do CAUQ ou da placa, objeto da simulação.

A Taxa de Amortização e o custo/m² de equilíbrio econômico são obtidos fazendo-se a intersecção das retas envolvendo o Pavimento Flexível e o Pavimento Rígido, trazendo todos os valores que definiram tais retas a um mesmo patamar monetário e temporal, através da variável dependente Valor Presente Líquido (VPL).

Deve-se considerar, entretanto, nesse procedimento, o custo inicial mais o custo das intervenções que se pretenda adotar. Esses custos são funções das taxas de atratividade, da metodologia adotada na definição da estrutura inicial do pavimento, das respectivas intervenções e das datas de ocorrência. As Figuras 4.3a e 4.3b, abaixo, retiradas do trabalho de PAIVA e RODRIGUES FILHO (47), exemplificam o procedimento proposto, para CBR = 2% e níveis de tráfego extremos.

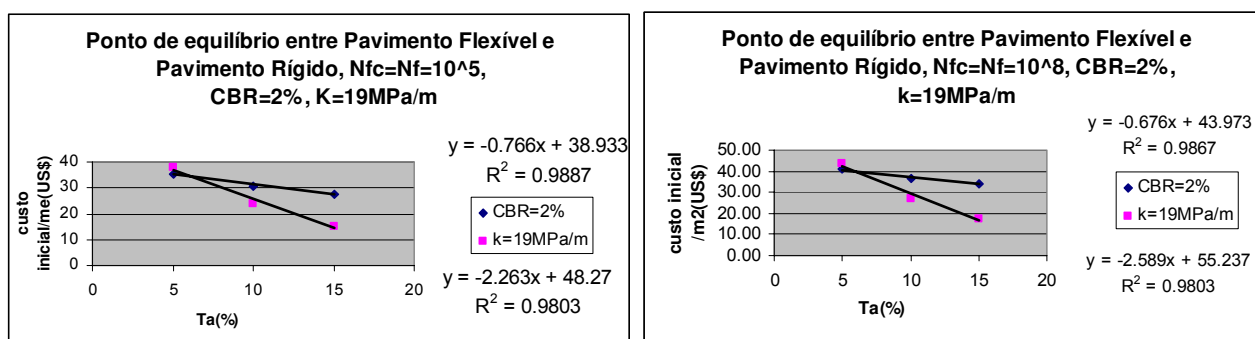


Figura 4.3a e b – Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível (método de SOUZA) e Rígido (método da PCA/66) para dadas condições de tráfego e Capacidade de suporte do subleito

Se se considerar que o ponto de equilíbrio obtido é decorrente de um custo/m² do CAUQ ou da placa, o qual, por sua vez, tem em sua composição de custo um valor específico do CAP e do cimento, pode-se obter também o ponto de equilíbrio entre o CAP e o cimento Portland.

Portanto, tais pontos de equilíbrio entre o CAP e o cimento seriam os decorrentes de outras 2 (duas) simulações semelhantes, variando o custo das matérias-primas CAP e cimento, configurando dessa forma 3 (três) valores para a Taxa de Amortização e 3 (três) de preço para o CAP e o cimento Portland.

Conseqüentemente, podem ser criadas retas ou curvas genéricas nas quais na abscissa se manteria a Taxa de Amortização (Ta%) e na ordenada, para facilitar a identificação da melhor solução, entrar-se-ia com a diferença percentual de preço entre o CAP e o cimento, e não com o custo/m² dos pontos de equilíbrio decorrentes.

Essas simulações, entretanto, não podem ser generalizadas. Os pontos de equilíbrio são válidos para as condições de contorno adotadas nas simulações propostas.

4.3. Avaliação Econômica em função da intensidade de tráfego e da qualidade do subleito

O método para dimensionamento do Pavimento Flexível utilizado neste estudo é o método CBR desenvolvido por Porter, aperfeiçoado pelo Corpo de Engenheiros do exército americano (USACE) no período pós-guerra e introduzido no Brasil por SOUZA (48), em face de ser este um método tradicional utilizado nas estradas brasileiras e, segundo REGIS (49), apresentar espessuras de pavimentos conservativas. MEDINA (4) aponta como limitação do método CBR o fato de não se considerar tensões e deformações na fibra inferior do asfalto e sua influência na ruptura prematura do pavimento. Cita, contudo, a limitação de laboratório referente à simulação dos modelos de fadiga do material asfáltico em laboratório, utilizando-se de tensão e deformação controladas, empregado em modelos mecânicos.

Entretanto, por se tratar de método oficial definido para dimensionamento de Pavimentos Flexíveis no Brasil pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) em seu manual de pavimentação (DNIT-2006), o método CBR foi considerado como o método de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis deste estudo.

O método de dimensionamento do Pavimento Rígido utilizado é o método PCA/66 (50), que tem sido aplicado nas estradas brasileiras há décadas e, segundo SAVERI (39), apresenta, para todos os tipos de subleito e de tráfego, as menores espessuras, se comparado ao método da AASTHO/86 (22), adotado e recomendado pelo DNIT em seu Manual de Pavimento Rígido (DNER 1989) – sendo, portanto, uma opção conservativa.

O método denominado PCA/86, por outro lado, deixou de ser considerado neste estudo em face de conter o procedimento do método PCA/66 acrescido da análise de erosão, que, no mínimo, aumenta a espessura da placa do pavimento. Portanto, o método PCA/66 resulta em menores espessuras que o método PCA/86, e por esta razão foi considerado como o método de dimensionamento deste estudo.

Existem varias limitações desse método e estão ligadas à equivalência de carga, ao modelo de fadiga conservativo, limitando a relação entre tensões admissível-atuantes em 0,50 para aplicações de carga ilimitadas, e descon siderações, segundo CERVO e BALBO (51), dos efeitos de gradientes térmicos nas placas e, segundo PEREIRA (28), no desenvolvimento do método em si, para ser utilizado em pavimento de concreto simples sem barras de transferência mas, em se tratando de um estudo econômico comparativo, empregou-se este método exatamente porque resulta em menores espessuras de placas que outros métodos de dimensionamento.

Este estudo, entretanto, não tem a pretensão de discutir procedimentos e/ou métodos de cálculo inicial de estruturas de pavimentos, e, muito menos, modelos de previsão de intervenções, ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

O importante deste estudo é o conceito de Life Cycle Cost Analysis (LCCA) que segundo KAAAN *et al.* (2), permite ao tomador de decisão optar por determinada estrutura inicial de pavimento e modelo de previsão de intervenções para dado subleito, nível de tráfego e Taxa de Amortização (Ta), disponíveis na implantação de uma rodovia, ainda que considerado como um estudo inicial, em termos de planejamento.

4.3.1. Dimensionamentos dos pavimentos Flexível e Rígido

A Tabela 4.6a, abaixo, apresenta as estruturas de Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para 4 (quatro) tipos de CBR (%) / K (MPa/m) considerando 5 (cinco) níveis de tráfego. Tem como objetivo apresentar as estruturas iniciais de pavimentos consideradas na avaliação econômica comparativa entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido.

Tabela 4.6a – Estruturas de pavimento Rígido e Flexível

Trafego=>	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
Pav flexível					
CBR (%)					
2	C=TSD B=22 SB=17 Rsl=55	C=5 B=14,5 SB=20 Rsl=66	C=7,5 B=12 SB=23 Rsl=77	C=10 B=10 SB=24 Rsl=84	C=12,5 B=10 SB=19 Rsl=87
5	C=TSD B=22 SB=17 Rsl=19	C=5 B=14 SB=20 Rsl=24	C=7,5 B=12 SB=23 Rsl=27	C=10 B=10 SB=24 Rsl=30	C=12,5 B=10 SB=19 Rsl=29
6	C=TSD B=22 SB=17 Rsl=14	C=5 B=14 SB=20 Rsl=17	C=7,5 B=12 SB=23 Rsl=19	C=10 B=10 SB=23 Rsl=21	C=12,5 B=10 SB=17 Rsl=24
9	C=TSD B=22 SB=17	C=5 B=14 SB=20	C=7,5 B=12 SB=23	C=10 B=10 SB=23	C=12,5 B=10 SB=18
Pav Rígido					
K (MPa/m)					
19	C=20 SB=10	C=21,5 SB=10	C=24,5 SB=10	C=25,5 SB=10	C=25,5 SB=10
38	C= 18 SB=10	C= 19,5 SB=10	C= 22 SB=10	C= 23 SB=10	C= 23 SB=10
42	C= 17,5 SB=10	C= 19 SB=10	C= 21,5 SB=10	C= 22,5 SB=10	C= 22,5 SB=10
52	C= 17 SB=10	C= 18,5 SB=10	C= 21 SB=10	C= 22 SB=10	C= 22 SB=10

NOTA1: B= Brita Graduada Simples, SB=Solo estabilizado granulometricamente, Rsl=material de empréstimo CBR>2%. **NOTA2:** Pavimento flexível= método da USACE, introduzido no Brasil por SOUZA, Pavimento Rígido=método PCA/66

O tráfego utilizado, tanto para Pavimento Flexível como para Pavimento Rígido está apresentado no Tabela 4.6b a seguir, decorrente da dissertação de PEDRAZZI (21), visando, na análise econômica, os cenários de manutenção e restauração.

Tabela 4.6b - Classificação do tipo de tráfego em função do VDM

Tipo de tráfego	VDM (Veículos/dia)	VDM médio (veículo/dia)
Muito pesado	2000-1001	1501
Pesado	1000-303	651
Meio pesado	300-101	201
Médio	100-21	61
Leve	20-4	12
Muito leve	<3	Desconsiderado

NOTA: Adaptado de PEDRAZZI (21)

O tráfego, entretanto para ser utilizado em Pavimentos Rígidos, dentro da metodologia adotada considerando o nível de tráfego para 20 anos, está compatibilizado no Tabela 4.6c, a seguir.

Tabela 4.6c – Nível de tráfego (configuração de eixo, frequência e carga)

PAVIMENTO FLEXÍVEL – 10 anos	PAVIMENTO RÍGIDO – 20 anos		
Nf, função carga padrão de 8,2 tf	CLASSE	CARGA/EIXO (tf)	FREQUENCIA N°. solicitações
10 ⁵	ESRD	9,0	23.594
		9,5	11.794
10 ⁶	ESRD	10,0	120.917
		11,0	58.984
10 ⁷	ESRD	12,0	395.193
		14,0	197.596
5x10 ⁷	ESRD	13,0	852.319
		15,0	427.634
10 ⁸	ETD	10,0	639.976
	ESRD	14,0	1.377.276
		15,0	690.113
	ETD	13,0	687.164
		14,0	345.056

NOTA: Adaptado de PEDRAZZI (21)

4.3.2. Preço unitário das estruturas de pavimentos Flexível e Rígido (US\$/m²)

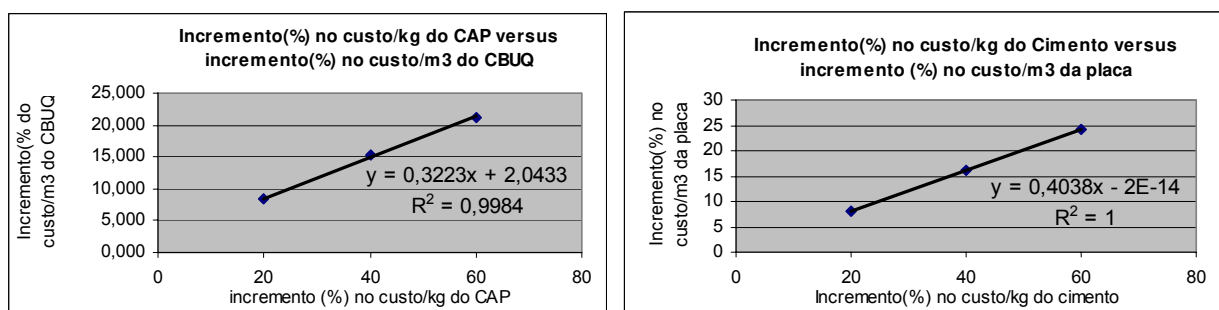
A Tabela 4.7, abaixo, apresenta o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.6, em que o preço do cimento é em torno de 21% do preço do asfalto. Tem como objetivo identificar o custo inicial da estrutura de pavimento considerada neste estudo e servir de referencial para as relações percentuais entre Pavimento Rígido/Flexível, em uma primeira avaliação, considerando o Pavimento Flexível dimensionado para 10 anos e o Pavimento Rígido dimensionado para 20 anos.

Tabela 4.7 – Preço unitário de pavimento (US\$/m²)

Trafego	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
Pav.Flexível CBR(%)					
2	C1=15,66	C5=17,74	C9=20,73	C13=23,49	C17=25,88
5	C2=15,18	C6=16,93	C10=20,05	C14=22,76	C18=25,10
6	C3=15,11	C7=16,89	C11=19,95	C15=22,46	C19=24,67
9	C4=14,92	C8=16,66	C12=19,69	C16=22,18	C20=24,53
Pav Rígido K(MPa/m)					
19	C21=48,95	C25=51,38	C29=56,24	C33=57,86	C37=57,86
38	C22=45,71	C26=48,14	C30=52,19	C34=53,81	C38=53,81
42	C23=44,90	C27=47,33	C31=51,38	C35=53,00	C39=53,00
52	C24=44,09	C28=46,52	C32=50,57	C36=52,19	C40=52,19

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

As Figuras 4.4a e 4.4b, abaixo, apresenta relações de incrementos de custo na composição de custo ref. DER/SP. Por exemplo, havendo um aumento de 40% no custo/kg do CAP, haverá como consequência um aumento de 15% no custo/m³ do CAUQ.



Figuras 4.4a e b - relação entre o incremento no custo/kg do material de maior peso e seu reflexo no custo/m³ do revestimento, tendo como referência a composição de custo do DER/SP.

4.3.2.1. Relações percentuais de preços Pavimento Rígido/Flexível

A Tabela 4.8, abaixo, apresenta as relações percentuais entre Pavimento Rígido/Flexível, tendo como referência o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.7. Tem como objetivo observar a diferença de preço inicial entre uma estrutura de Pavimento Rígido e uma estrutura de Pavimento Flexível.

Tabela 4.8 – Relações percentuais de preço (Pavimento Rígido/Flexível)

Trafego RELAÇÃO	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
2	312,57	289,62	271,29	246,31	223,57
5	301,12	284,34	260,29	236,42	214,38
6	297,15	280,22	257,54	235,97	214,83
9	295,50	279,23	256,83	235,30	212,75

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

4.3.3. Preço unitário (US\$/m²) majorado para o Asfalto e minorado para o concreto (placa)

A Tabela 4.9, abaixo, apresenta o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.7, majorando-se em 20,36 % o preço do asfalto e minorando-se em 28,53% o preço do cimento, decorrentes dos valores máximo e mínimo das Tabelas 4.2a a 4.2c. Tem como objetivo observar a influência do preço da matéria-prima na composição do preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.9 – Preço unitário majorado para o asfalto e minorado para o concreto

Trafego CBR	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
2	C1=16,21	C5=19,10	C9=22,76	C13=26,20	C17=29,27
5	C2=15,72	C6=18,34	C10=22,09	C14=25,47	C18=28,49
6	C3=15,66	C7=18,25	C11=21,98	C15=25,17	C19=28,06
9	C4=15,47	C8=18,02	C12=21,72	C16=24,89	C20=27,92
Pav Rígido K(MPa/m)					
19	C21=39,71	C25=41,44	C29=44,92	C33=46,08	C37=46,08
38	C22=37,39	C26=39,13	C30=42,02	C34=43,18	C38=43,18
42	C23=36,81	C27=38,55	C31=41,44	C35=42,60	C39=42,60
52	C24=36,23	C28=37,97	C32=40,87	C36=42,02	C40=42,02

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

4.3.3.1. Relações percentuais de preços pavimento rígido e flexível majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa)

A Tabela 4.10, abaixo, apresenta as relações percentuais entre Pavimento Rígido/Flexível, tendo como referência o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.7, majorando-se em 20,36 % o preço do asfalto e minorando-se em 28,53% o preço do cimento, decorrentes dos valores máximo e mínimo das Tabelas 4.2a a 4.2c. Tem como objetivo observar a diferença de preço inicial entre uma estrutura de Pavimento Rígido e uma estrutura de Pavimento Flexível em face da majoração no preço do asfalto e da minoração no preço do cimento.

Tabela 4.10 – Relações percentuais entre pavimento Rígido e Flexível, majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa)

Trafego RELAÇÃO	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
2	244,97	216,96	197,36	175,87	157,43
5	237,84	213,35	190,22	169,53	151,56
6	235,05	211,23	188,53	169,24	151,81
9	234,19	210,71	188,16	168,82	150,50

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

4.3.4. Preço unitário da estrutura de pavimento (US\$/m²) dividindo os preços dos Pavimentos Flexíveis por 10 (anos) e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 (anos).

A Tabela 4.11, a seguir, apresenta as relações de preços entre as estruturas de Pavimento Flexível (10 anos) e de Pavimento Rígido (20 anos), dividindo-se os valores da Tabela 4.7, que apresenta o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.6, por 10 e 20 anos respectivamente. Tem como objetivo observar o custo/m² anual de cada tipo de pavimento.

Tabela 4.11 – Relações de preços Pavimento Flexível (10 anos) e Pavimento Rígido (20 anos)

Trafego CBR	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
2	C1=1,57	C5=1,77	C9=2,07	C13=2,3,5	C17=2,58
5	C2=1,52	C6=1,69	C10=2,00	C14=2,28	C18=2,51
6	C3=1,51	C7=1,69	C11=1,99	C15=2,25	C19=2,47
9	C4=1,49	C8=1,66	C12=1,97	C16=2,22	C20=2,45
Pav Rígido K(MPa/m)					
19	C21=2,44	C25=2,57	C29=2,81	C33=2,89	C37=2,89
38	C22=2,28	C26=2,41	C30=2,61	C34=2,69	C38=2,69
42	C23=2,24	C27=2,37	C31=2,57	C35=2,65	C39=2,65
52	C24=2,20	C28=2,33	C32=2,52	C36=2,61	C40=2,61

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

4.3.5. preço unitário (US\$/m²) majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa), dividindo os preços dos Pavimentos Flexíveis por 10(anos) e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 (anos)

A Tabela 4.12, abaixo, apresenta as mesmas relações da Tabela 4.11, considerando-se o preço unitário (US\$/m²) majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa). Tem como objetivo observar o custo/m² anual de cada tipo de pavimento, com o preço unitário (US\$/m²) majorado para o asfalto e minorado para o concreto (placa).

Tabela 4.12 – Relações de preços majorado o Pavimento Flexível (10 anos) e minorado o Pavimento Rígido (20 anos)

Trafego CBR	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁸
2	C1=1,62	C5=1,91	C9=2,28	C13=2,62	C17=2,93
5	C2=1,57	C6=1,83	C10=2,21	C14=2,55	C18=2,85
6	C3=1,56	C7=1,82	C11=2,20	C15=2,52	C19=2,81
9	C4=1,55	C8=1,80	C12=2,17	C16=2,49	C20=2,29
Pav Rígido K(MPa/m)					
19	C21=1,98	C25=2,07	C29=2,25	C33=2,30	C37=2,30
38	C22=1,87	C26=1,95	C30=2,10	C34=2,16	C38=2,16
42	C23=1,84	C27=1,93	C31=2,07	C35=2,13	C39=2,13
52	C24=1,81	C28=1,90	C32=2,04	C36=2,10	C40=2,10

NOTA: Ref. DER/SP. Dólar referenciado ao valor do Real do último dia do mês de DEZ/2005

Dividindo-se os preços dos Pavimentos Flexíveis por 10 anos e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 anos, majorando-se em 20,36 % o preço do CAP e minorando-se em 28,53% o preço do cimento, decorrentes dos valores máximo e mínimo das Tabelas 4.2a a 4.2c, observa-se outro comportamento do preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Flexível e do Pavimento Rígido.

O preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Flexível, para capacidade de suporte do subleito (CBR = 2%) e nível de tráfego (Nf = 10⁵), que era em torno de 55% menor que o Pavimento Rígido (Tabela 4.11), passa para 22% (Tabela 4.12).

Entretanto, para a mesma capacidade de suporte do subleito (CBR = 2%), aumentando-se o nível de tráfego para (Nf = 10⁸), o preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Flexível, que era menor em torno de 12% que o do pavimento Rígido (Tabela 4.11), sofre uma inversão. O preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Flexível passa a ser 27% maior que o preço do Pavimento Rígido.

Na Tabela 4.7, o preço unitário (US\$/m²) inicial das estruturas de pavimento da Tabela 4.6 tem como referência um preço do cimento que é em torno de 21% do preço do asfalto. Majorando-se em 20,36 % o preço do CAP e minorando-se em 28,53% o preço do cimento, este passa de 21% do preço do asfalto para em torno de 12%.

Pode-se concluir, portanto, que, dividindo-se os preços dos Pavimentos Flexíveis por 10 (anos) e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 (anos), majorando-se o preço do CAP em 20,36% e minorando-se o preço do cimento em 28,53%, haverá um momento, função do tráfego, em que o preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Rígido será inferior ao do Pavimento Flexível.

4.4. Participação da capa ou da placa no preço total para cada faixa de tráfego

A Tabela 4.13a, a seguir, apresenta a composição percentual de custo de cada camada da estrutura de pavimento considerada para CBR = 2%, para cada nível de tráfego. Tem como objetivo observar a influência percentual de cada tipo de material apresentado no presente estudo na composição da espessura total do pavimento.

Tabela 4.13a – Participação percentual da capa (asfalto) ou da Placa (concreto) por Nível de tráfego – CBR=2%

Referência	Nf=Nfc=10 ⁵	Nf= Nfc =10 ⁶	Nf= Nfc =10 ⁷	Nf= Nfc =5x10 ⁷	Nf= Nfc=10 ⁸
Pav. Flexível	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Capa	22,66	43,81	53,17	60,74	67,67
Base	53,20	30,97	21,94	16,13	14,64
Sub-base	19,40	20,18	19,87	18,29	13,14
Reforço subleito	4,74	5,04	5,02	4,84	4,55
Pav.Rígido	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Placa	92,25	92,62	93,26	93,45	93,45
Sub-base	7,75	7,38	6,74	6,55	6,55

A Tabela 4.13b, abaixo, apresenta a composição percentual de custo de cada camada da estrutura de pavimento considerada para CBR = 5%, para cada nível de tráfego. Tem como objetivo observar a influência percentual de cada tipo de material apresentado no presente estudo na composição da espessura total do pavimento.

Tabela 4.13b – Participação percentual da capa (asfalto) ou da Placa (concreto) por faixa de tráfego – CBR=5%

Referência	Nf=Nfc=10 ⁵	Nf= Nfc =10 ⁶	Nf= Nfc =10 ⁷	Nf= Nfc =5x10 ⁷	Nf= Nfc=10 ⁸
Pav. Flexível	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Capa	23,34	45,76	54,96	62,68	69,78
Base	54,90	31,23	22,68	16,65	15,09
Sub-base	20,06	21,08	20,54	18,88	13,55
Reforço subleito	1,70	1,93	1,82	1,79	1,58
Pav.Rígido	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Placa	91,70	92,12	92,74	92,95	92,95
Sub-base	8,30	7,88	7,26	7,05	7,05

A Tabela 4.13c, a seguir, apresenta a composição percentual de custo de cada camada da estrutura de pavimento considerada para CBR = 6%, para cada nível de tráfego. Tem como objetivo observar a influência percentual de cada tipo de material apresentado no presente estudo na composição da espessura total do pavimento.

Tabela 4.13c – Participação percentual da capa (asfalto) ou da Placa (concreto) por faixa de tráfego – CBR=6%

Referência	Nf=Nfc=10 ⁵	Nf= Nfc =10 ⁶	Nf = Nfc =10 ⁷	Nf = Nfc =5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
Pav. Flexível	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Capa	23,42	46,02	55,26	63,52	70,98
Base	55,18	31,41	22,80	16,87	15,36
Sub-base	20,15	21,20	20,65	18,34	12,34
Reforço subleito	1,25	1,37	1,29	1,27	1,32
Pav.Rígido	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Placa	91,55	91,99	92,62	92,85	92,85
Sub-base	8,45	8,01	7,38	7,15	7,15

A Tabela 4.13d, abaixo, apresenta a composição percentual de custo de cada camada da estrutura de pavimento considerada para CBR = 9%, para cada nível de tráfego. Tem como objetivo observar a influência percentual de cada tipo de material apresentado no presente estudo na composição da espessura total do pavimento.

Tabela 4.13d – Participação percentual da capa (asfalto) ou da Placa (concreto) por faixa de tráfego – CBR=9%

Referência	Nf=Nfc=10 ⁵	Nf= Nfc =10 ⁶	Nf = Nfc =10 ⁷	Nf = Nfc =5x10 ⁷	Nf = Nf c=10 ⁸
Pav. Flexível	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Capa	23,70	46,65	55,98	63,34	71,40
Base	55,90	31,84	23,10	17,09	15,45
Sub-base	20,40	21,51	20,92	19,57	13,15
Pav.Rígido	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Placa	91,40	91,85	92,50	92,74	92,74
Sub-base	8,60	8,15	7,50	7,26	7,26

O que se observa em relação aos materiais de maior peso na composição da estrutura do Pavimento Flexível e do Pavimento Rígido – como é o caso do asfalto e do cimento (placa) respectivamente –, na metodologia de dimensionamento inicial adotada, é que, enquanto há uma variação no valor de CBR de 450% (de 2% para 9%), para um nível de tráfego de 10⁵ a 10⁸, há uma variação da participação percentual de 6% na capa asfáltica e de 11% na placa. Portanto, a variação no valor de CBR pesa muito pouco no custo da matéria-prima de maior peso na composição de uma estrutura de pavimento dimensionada pelo método da USACE, introduzido no Brasil por SOUZA (Pavimento Flexível), e pelo método PCA/66 (Pavimento Rígido).

4.5. Período de operação do Pavimento

4.5.1. Estudos desenvolvidos

Admitindo-se que o peso do custo inicial/m² (US\$) do pavimento não seja tão importante em uma avaliação econômica, conforme mostraram os estudos desenvolvidos anteriormente, mesmo majorando-se o preço do CAP e minorando-se o preço do cimento, importante passa a ser, então, o estudo econômico do pavimento envolvendo todo o seu ciclo de vida.

Portanto, no estudo a seguir apresentado, o horizonte de tempo estabelecido no ciclo de vida do pavimento é o do dimensionamento inicial, ou seja, 10 anos para Pavimento Flexível e 20 anos para Pavimento Rígido.

Como consequência dessa premissa foram estabelecidas as hipóteses de intervenção a seguir apresentadas. Tais hipóteses estão vinculadas a instantes de manutenção, ao tipo de intervenção (material aplicado e procedimento adotado), ao nível de tráfego (carga, frequência e configuração de veículo), a capacidade de suporte do subleito e a taxa de atratividade – todas consideradas como variáveis independentes.

Todos os valores que definem as hipóteses de intervenções, entretanto, passam então a ser referenciados a um mesmo patamar monetário e temporal, através da variável dependente Valor Presente Líquido (VPL).

a) Horizonte até 20 anos – Pavimento Flexível

- a.1) Hipótese A1 – Manutenção preventiva, aplicação de microrevestimento com 10mm
Instante de manutenção nos anos 5, 10, 14 e 17.
Nos anos 10, 14, 17 e 20, aplicação precedida de frezagem
e remoção da aplicação anterior
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.14a, abaixo, apresenta a Hipótese A1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6, para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 10, 14, 17 e 20.

Tabela 4.14a - Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	22,68	24,76	27,75	30,51	32,90
5	22,20	23,95	27,07	29,78	32,12
6	22,13	23,91	26,97	29,48	31,69
9	21,94	23,68	26,71	29,20	31,55

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.14b abaixo, apresenta a mesma hipótese A1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.14b - Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	21,47	23,55	26,54	29,30	31,69
5	20,99	22,74	25,86	28,57	30,91
6	20,92	22,70	25,76	28,27	30,48
9	20,73	22,47	25,50	27,99	30,34

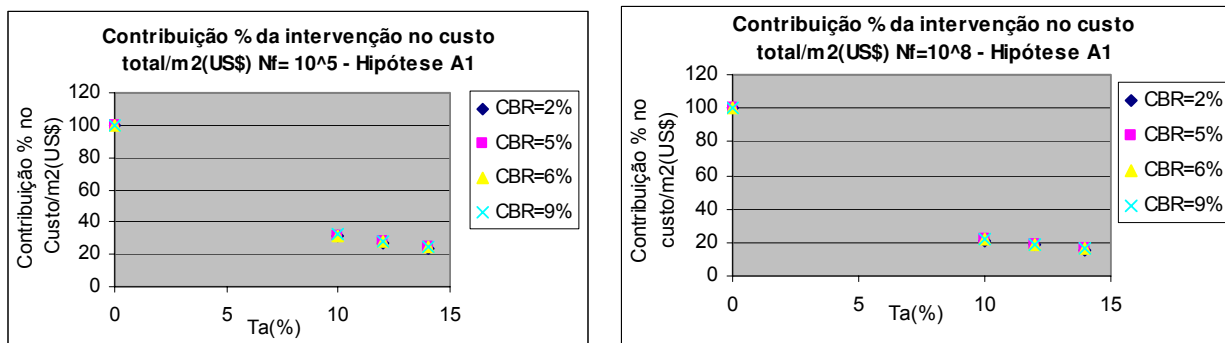
A tabela 4.14c abaixo, apresenta a mesma hipótese A1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.14c - Hipótese A1 – Taxa de atratividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	20,52	22,60	25,58	28,35	30,74
5	20,04	21,79	24,91	27,62	29,96
6	19,97	23,75	24,81	27,32	29,53
9	19,78	21,52	24,55	27,04	29,39

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.5a e 4.5b, a seguir, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese A1, com o objetivo de caracterizar a influência desse peso para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸.



Figuras 4.5a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese A1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸

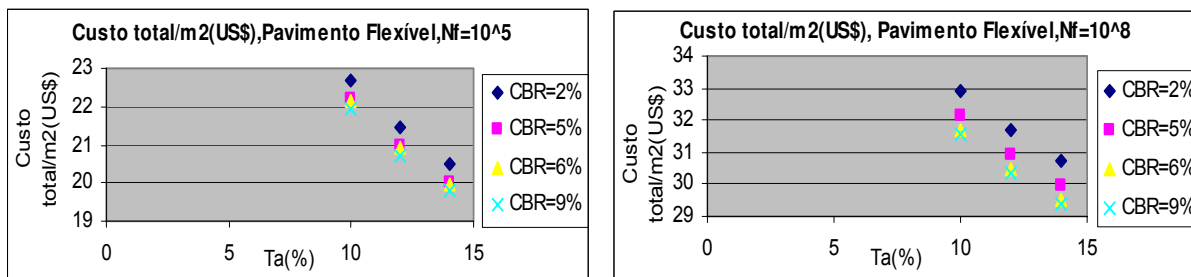
As Figuras 4.5a e 4.5b, acima, caracterizam a importância da Taxa de Amortização (%) em uma análise econômica, permitindo analisar-se o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese A1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸.

Em se tratando custo inicial (Ta = 0), não se observam variações significativas no custo/m² (US\$) para valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸.

Entretanto, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese A1, decorrente de valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸, varia para faixas de capacidade de suporte de subleito entre 2% e 9%.

Tais variações, portanto, são da ordem de 32% a 24% (Figura 4.4a) em se tratando de tráfego com Nf = 10⁵ e de 22% a 16% (Figura 4.4b) em se tratando de tráfego com Nf = 10⁸. Quanto maior a Taxa de Amortização e quanto maior o nível de tráfego, menor o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

As Figuras 4.6a e 4.6b, a seguir, apresentam o custo total do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) em função das Taxa de Amortização adotada, considerando-se valores extremos de CBR.



Figuras 4.6a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese A1, Nf= 10⁵ e 10⁸.

Para uma mesma capacidade de suporte do subleito, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, o custo total/m² (US\$) diminui, caracterizando-se a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

Por outro lado, para uma mesma Taxa de Amortização, quanto maior for o tráfego, maior será o custo total/m² (US\$).

- a.2) Hipótese B1 – Recapeamento com espessura igual a capa original
 Instante de manutenção no ano 8.
 No ano 16, aplicação de micro concreto
 Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A tabela 4.15a abaixo, apresenta a hipótese B1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da tabela 6, para horizonte de 20 anos, considerando a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 8 e 16.

Tabela 4.15a - Hipótese B1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	18,35	27,05	31,44	35,49	38,99
5	17,87	25,89	30,44	34,42	37,85
6	17,80	25,81	30,30	33,98	37,22
9	17,61	25,47	29,91	33,57	37,01

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.15b a seguir, apresenta a mesma hipótese B1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.15b - Hipótese B1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	17,89	25,70	29,90	33,78	37,13
5	17,41	24,59	28,95	32,75	36,04
6	17,34	24,51	28,81	32,33	35,43
9	17,15	24,19	28,44	31,94	35,24

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

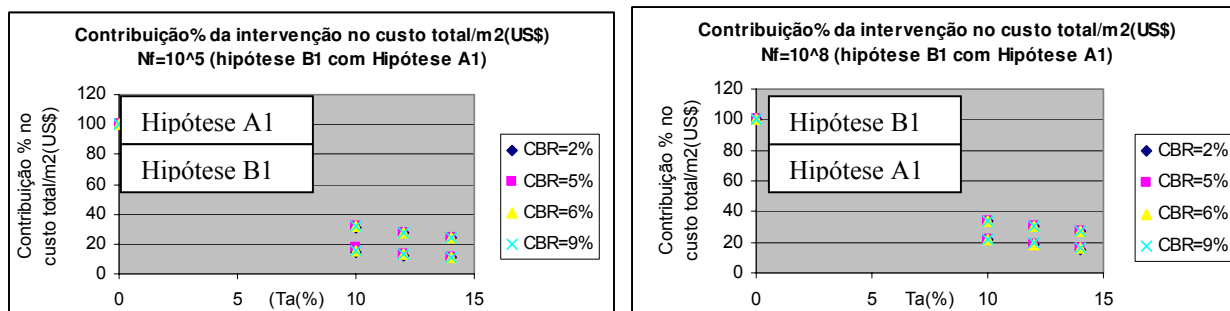
A tabela 4.15c abaixo, apresenta a mesma hipótese B1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.15c - Hipótese B1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	17,52	24,58	28,62	32,34	35,57
5	17,04	23,50	27,70	31,36	34,52
6	16,97	23,43	27,56	30,95	33,94
9	16,78	23,12	27,21	30,57	33,75

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.7a e 4.7b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), para a Hipótese B1 em comparação à Hipótese A1, com o objetivo de caracterizar a influência da mudança de Hipótese para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸.



Figuras 4.7a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese B1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese A1

A Hipótese B1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), da ordem de 18% a 11% (Figura 4.7a) e de 34% a 27% (Figura 4.7b).

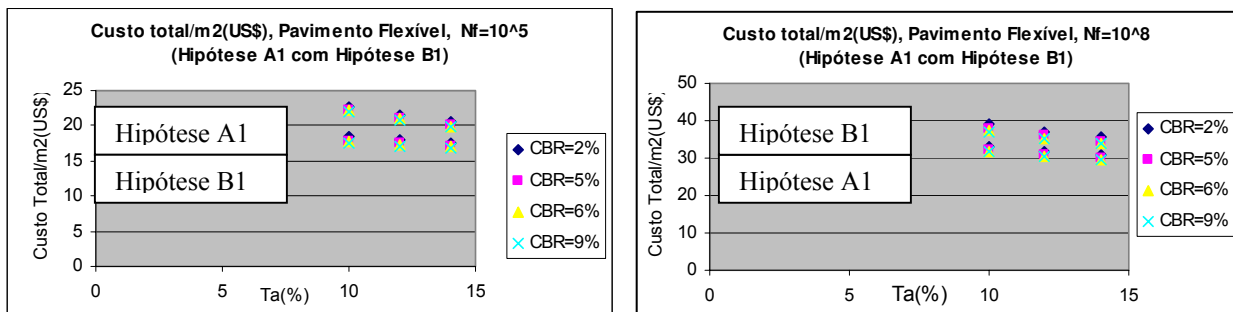
Comparando-se a Hipótese A1 com a Hipótese B1, observa-se que para Nf = 10⁵ a Hipótese A1 tem maior peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

Entretanto, quando se aumenta o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese B1 passa a ter maior peso na contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), com a inversão no peso das hipóteses.

A Taxa de Amortização tem influência direta no custo total/m² (US\$) quando se traz todos os valores a um mesmo patamar monetário e temporal através do VPL. Quando se aumenta o nível de tráfego e se diminui os instantes de intervenções, há aumento no custo relativo (diferença entre custo total), como é o caso da Hipótese B1 (2 intervenções) com a Hipótese A1 (5 intervenções). Daí a inversão no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) observada nas Figuras 4.7a e 4.7b.

Pode-se considerar inclusive, hipoteticamente, que esse aumento se deve à estrutura do pavimento da Hipótese A1, em face de ser esta menos resistente que a Hipótese B1 em função das condições do meio em que o pavimento esteja inserido.

As Figuras 4.8a e 4.8b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses B1 em comparação à Hipótese A1.



Figuras 4.8a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese B1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese A1.

Ao se analisar a Figura 4.8a (nível de tráfego $N_f = 10^5$), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese A1 é maior que o da Hipótese B1. Entretanto, quando se aumenta o nível de tráfego para 10^8 , o custo total/m² (US\$) da Hipótese A1 passa a ser menor.

Nessa forma de apresentação, também se observa a influência da Taxa de Amortização no custo total/m² (US\$), decorrente do custo relativo da intervenção. Quanto maior o custo relativo

de intervenção, menor a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização.

- a.3) Hipótese C1 – Frezagem no 10°. Ano da capa menos 2 cm e construção da capa na mesma espessura original, menos 2 cm.
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.16a, abaixo, apresenta a Hipótese C1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6, para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instante de manutenção no ano 10.

Tabela 4.16a - Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	17,40	19,48	23,81	27,90	31,63
5	16,92	18,67	23,13	27,17	30,85
6	16,85	18,63	23,03	26,87	30,42
9	16,66	18,40	22,77	26,59	30,28

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.16b abaixo, apresenta a mesma hipótese C1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.16b - Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	17,12	19,20	23,30	27,18	30,68
5	16,64	18,39	22,62	26,45	29,90
6	16,57	18,35	22,52	26,15	29,47
9	16,38	18,12	22,26	25,87	29,33

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.16c abaixo, apresenta a mesma hipótese C1 com a taxa de atratividade de 14%.

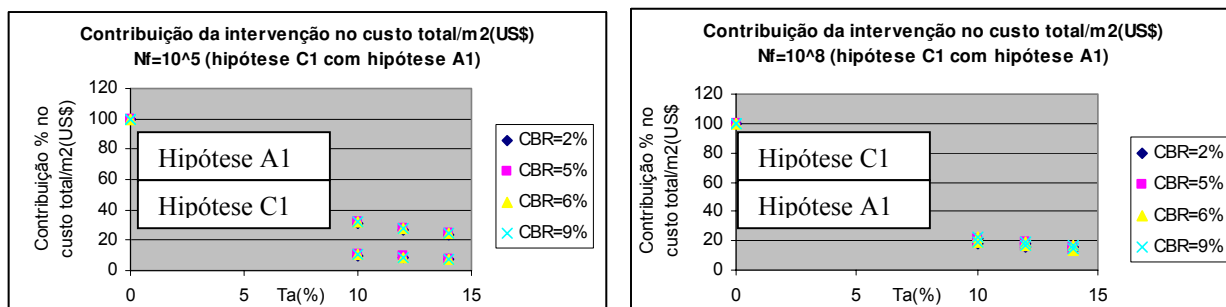
Tabela 4.16c - Hipótese C1 – Taxa de atratividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	16,98	18,96	22,88	26,58	29,90
5	16,40	18,15	22,20	25,85	29,12
6	16,33	18,11	22,10	25,55	28,69
9	16,14	17,88	21,84	25,27	28,55

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.9a e 4.9b, a seguir, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), para a Hipótese C1 em comparação à Hipótese A1, com o

objetivo de continuar a caracterizar a influência da mudança de hipótese para valores extremos de nível de tráfego ($N_f = 10^5$ e 10^8).



Figuras 4.9a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a hipótese C1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese A1

Nessa Hipótese C1, observa-se a mesma tendência da Hipótese B1, haja vista a redução no número de intervenções e no custo dessas intervenções.

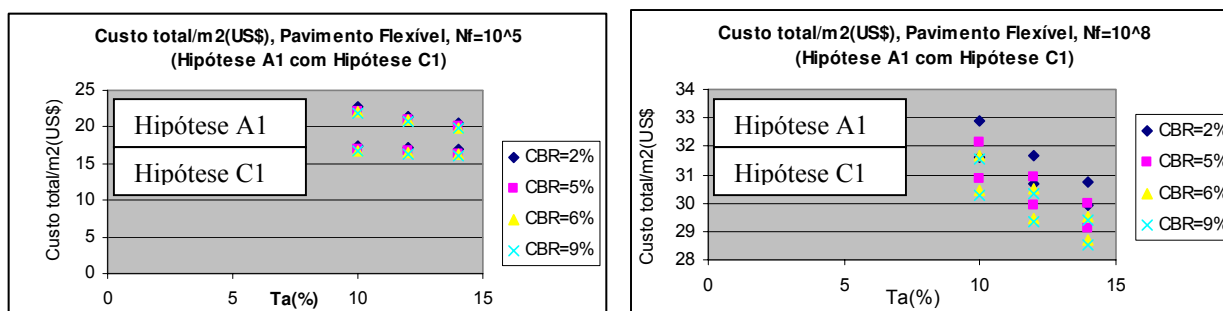
A Hipótese C1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) da ordem de 10% a 7% (Figura 4.9a) e de 19% a 13% (Figura 4.9b).

Comparando-se a Hipótese A1 com a Hipótese C1, observa-se que para $N_f = 10^5$ a Hipótese A1 tem maior peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese A1 continua a ter maior peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), ainda que tenha havido inversão no peso das hipóteses.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e diminuir o número de intervenções, diminuir o custo relativo (diferença entre custo total).

Portanto, pode-se concluir que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a diminuir com o aumento o nível de tráfego ao se diminuir o número de intervenções e os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.10a e 4.10b, a seguir, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses C1 em comparação à Hipótese A1.



Figuras 4.10a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese C1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese A1.

Ao se analisar a Figura 4.10a (nível de tráfego Nf = 10⁵), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese A1 é maior que o da Hipótese C1. O mesmo se observa para o nível de tráfego 10⁸.

Nessa forma de apresentação, também se observa a influência da Taxa de Amortização no custo total/m² (US\$), decorrente do custo relativo da intervenção. Na medida em que se reduz o custo o custo relativo de intervenção, aumenta a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização.

a.4) Hipótese D1 – Reciclagem no ano 10 da capa e metade da base com espuma asfalto e construção de nova capa com espessura igual a original
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.17a, abaixo, apresenta a Hipótese D1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6, para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instante de manutenção no ano 10.

Tabela 4.17a - Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	21,79	24,93	29,58	34,09	36,48
5	21,31	24,03	28,90	33,36	35,70
6	21,24	23,99	28,80	33,06	35,27
9	21,05	23,76	28,54	32,78	35,13

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.17b a seguir, apresenta a mesma hipótese C1 com a taxa de atratividade de 12%

Tabela 4.17b - Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	20,78	23,74	28,12	32,34	34,73
5	20,30	22,86	27,44	31,61	33,95
6	20,23	22,82	27,34	31,31	33,52
9	20,04	22,59	27,08	31,03	33,38

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

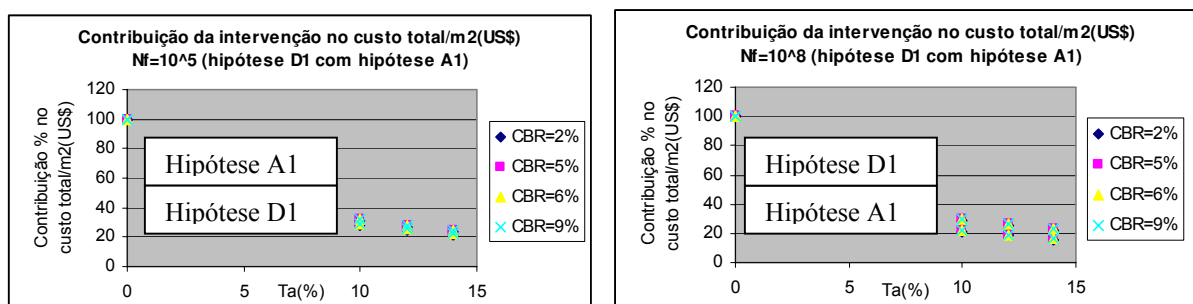
A tabela 4.17c abaixo, apresenta a mesma hipótese C1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.17c - Hipótese D1 – Taxa de atratividade de 14%

CBR /Custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	19,95	22,77	26,92	30,91	33,30
5	19,47	21,90	26,24	30,18	32,52
6	19,40	21,86	26,14	29,88	32,09
9	19,21	21,63	25,88	29,60	31,95

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.11a e 4.11b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese D1 em comparação à Hipótese A1, com o objetivo de continuar a caracterizar a influência da mudança de hipótese para valores extremos de nível de tráfego (Nf = 10⁵ e 10⁸).



Figuras 4.11a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese D1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese A1

Nessa Hipótese D1, observa-se a mesma tendência da Hipótese C1, haja vista o mesmo número de intervenções, majorando-se, entretanto, os custos dessas intervenções.

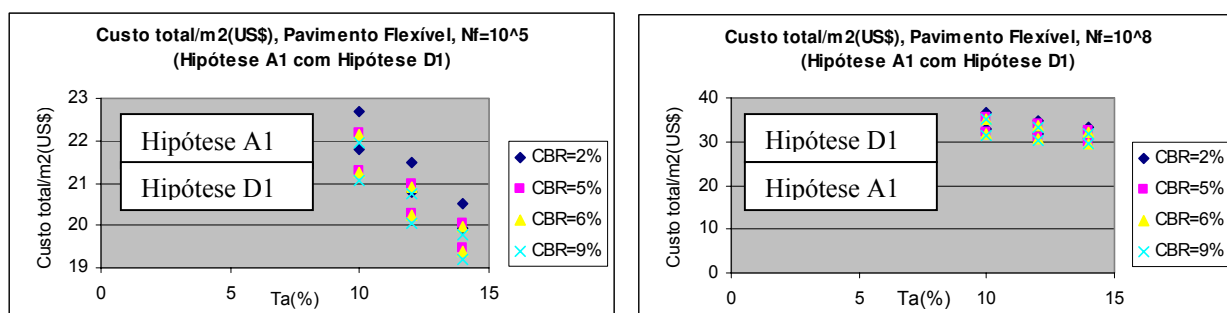
A Hipótese D1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), da ordem de 29% a 21% (Figura 4.9a) e de 30% a 22% (Figura 4.9b).

Comparando-se a Hipótese A1 com a Hipótese D1, observa-se que para $N_f = 10^5$ a Hipótese A1 tem maior peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese A1 passa a ter menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), ainda que tenha havido inversão no peso das hipóteses.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e manter o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total).

Portanto, pode-se concluir que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento o nível de tráfego ao se manter o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.12a e 4.12b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses D1 em comparação à Hipótese A1.



Figuras 4.12a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese D1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese A1.

Ao se analisar a Figura 4.12a (nível de tráfego $N_f = 10^5$), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese A1 continua sendo maior que o da Hipótese D1. Entretanto, quando se aumentao nível de tráfego para 10^8 , o custo total/m² (US\$) da Hipótese A1 passa a ser menor.

Nessa forma de apresentação, também se observa, à semelhança das Hipóteses B1 e C1, a influência da Taxa de Amortização no custo total/m² (US\$), decorrente do custo relativo da intervenção. Quanto maior o custo relativo de intervenção, menor a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização.

b) Horizonte até 20 anos – Pavimento Rígido

b.1) Hipótese M1 – Selagem de juntas no ano 10 (10%) e no ano 20(10%).
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.18a, abaixo, apresenta a Hipótese M1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6, para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 10 e 20.

Tabela 4.18a - Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 10%

K/(custo(US\$))	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
19	49,63	52,06	56,92	58,54	58,54
38	46,39	48,82	52,87	54,49	54,49
42	45,58	48,01	52,06	53,68	53,68
52	44,77	47,20	51,25	52,87	52,87

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.18b abaixo, apresenta a mesma hipótese M1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 18b - Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 12%

K/(custo(US\$))	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
19	49,49	51,92	56,78	58,40	58,40
38	46,25	48,68	52,73	54,35	54,35
42	45,44	47,87	51,92	53,54	53,54
52	44,63	47,06	51,11	52,73	52,73

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

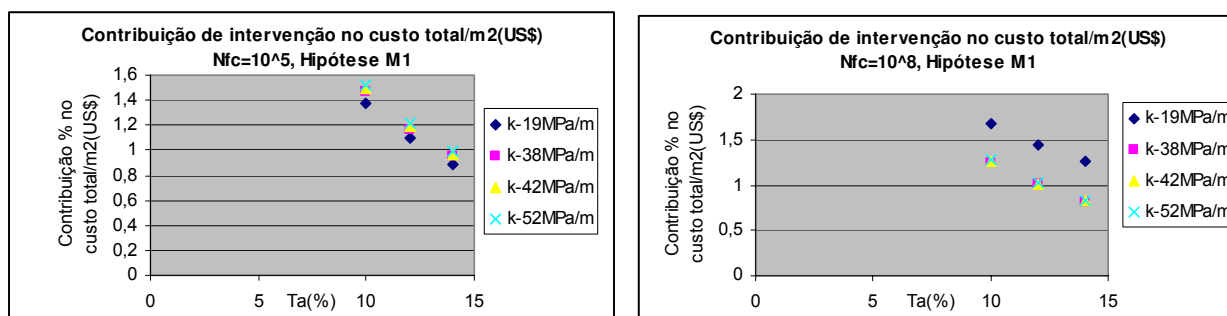
A tabela 4.18c a seguir, apresenta a mesma hipótese M1 com a taxa de atratividade de 14%

Tabela 4.18c - Hipótese M1 – Taxa de atratividade de 14%

K /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
19	49,39	51,82	56,68	58,30	58,30
38	46,15	48,58	52,63	54,25	54,25
42	45,34	47,77	51,82	53,44	53,44
52	44,53	46,96	51,01	52,63	52,63

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.13a e 4.13b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese M1, com o objetivo de caracterizar a influência desse peso para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸.



Figuras 4.13a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese M1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸

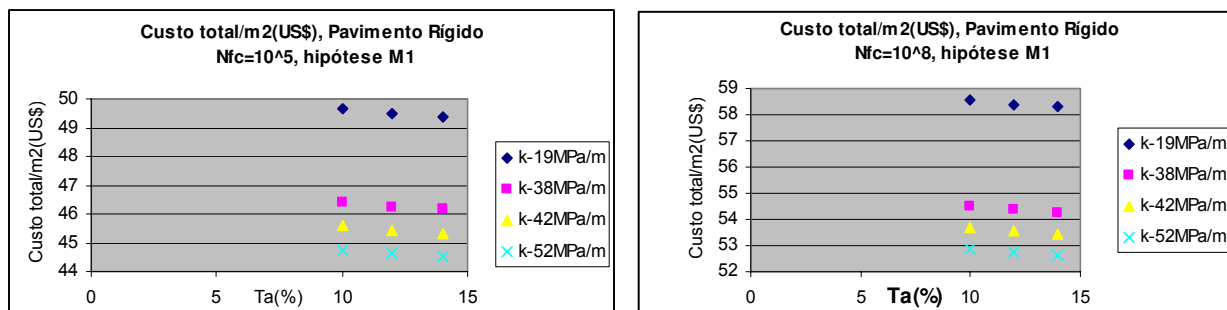
As Figuras 4.13a e 4.13b, acima, caracterizam a importância da Taxa de Amortização (%) em uma análise econômica, permitindo analisar-se o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese M1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸.

Em se tratando do custo inicial (Ta = 0), não se observam variações significativas no custo/m² (US\$) para valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸.

Entretanto, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese M1, decorrente de valores extremos de Nf = 10⁵ e Nf = 10⁸, varia para faixas de capacidade de suporte de subleito entre 2% e 9%.

Tais variações, portanto, são da ordem de 1% a 1,5% (Figura 4.13a) em se tratando de tráfego com $N_f = 10^5$ e de 1% a 1,7% (Figura 4.13b) em se tratando de tráfego com $N_f = 10^8$. Quanto maior a Taxa de Amortização e maior o nível de tráfego, menor o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), ainda que, nesse caso, seja extremamente pequeno.

As Figuras 4.14a e 4.14b, abaixo, apresentam o custo total do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) em função das Taxa de Amortização adotada, considerando-se valores extremos de CBR.



Figuras 4.14a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese M1, $N_f = 10^5$ e 10^8

Para uma mesma capacidade de suporte do subleito, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, o custo total/m² (US\$) diminui, caracterizando-se a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

Por outro lado, para uma mesma Taxa de Amortização, quanto maior for o tráfego, maior será o custo total/m² (US\$).

b.2) Hipótese N1- Selagem de juntas+Trincas (40%) no ano 10 (20%) e no ano 20 (20%)
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.19a, abaixo, apresenta a Hipótese N1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6, para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 10 e 20.

Tabela 4.19a - Hipótese N1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	50,43	52,86	57,72	59,34	59,34
5	47,19	49,62	53,67	55,29	55,29
6	46,38	48,81	52,86	54,48	54,48
9	45,57	48,00	52,05	53,67	53,67

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.19b abaixo, apresenta a mesma hipótese N1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.19b - Hipótese N1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	50,13	52,56	57,42	59,04	59,04
5	46,89	49,32	53,37	54,99	54,99
6	46,08	48,51	52,56	54,18	54,18
9	45,27	47,70	51,75	53,37	53,37

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

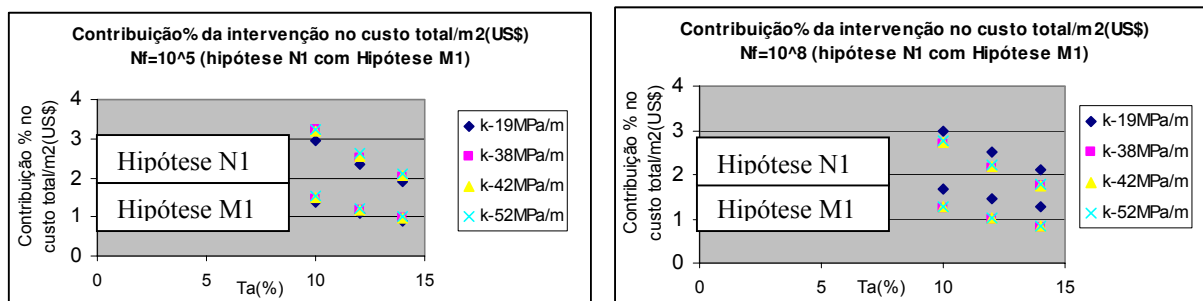
A tabela 4.19c abaixo, apresenta a mesma hipótese N1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 19c - Hipótese N1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	49,90	52,33	57,19	58,81	58,81
5	46,66	49,09	53,14	54,76	54,76
6	45,85	48,28	52,33	53,95	53,95
9	45,04	47,47	51,52	53,14	53,14

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.15a e 4.15b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese N1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.15a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese N1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1

Nessa Hipótese N1, observa-se a mesma tendência da Hipótese M1, haja vista o mesmo número de intervenções, majorando-se, entretanto, os custos dessas intervenções.

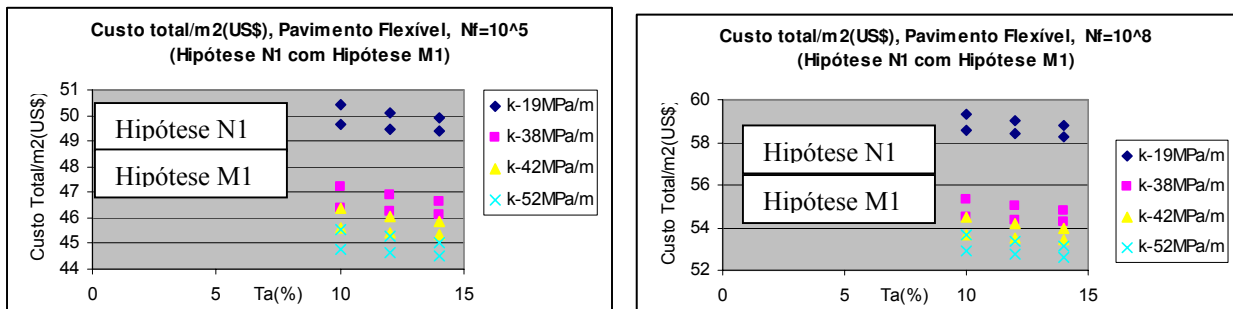
A Hipótese N1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), da ordem de 1,90% a 3% (Figura 4.15a) e de 1,7% a 3% (Figura 4.15b).

Comparando-se a Hipótese M1 com a Hipótese N1, observa-se que para $N_f = 10^5$ a Hipótese M1 tem menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese M1 continua tendo menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), haja vista a majoração nos custos dessa intervenção.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e manter o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total), à semelhança do que ocorre no Pavimento Flexível.

Portanto, pode-se concluir, também para o Pavimento Rígido, que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento o nível de tráfego, ao se manter o número de intervenções, e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.16a e 4.16b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses N1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.16a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese N1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese M1.

Ao se analisar a Figura 4.16a (nível de tráfego $N_f = 10^5$), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese N1 é maior que o da Hipótese M1. Quando se aumenta o nível de tráfego para 10^8 , o custo total/m² (US\$) da Hipótese N1 continua sendo maior.

Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, diferentemente das hipóteses analisadas em relação ao Pavimento Flexível. Isso se justifica em face dos pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Neste caso, a Taxa de Amortização tem pequena influência no custo total/m² (US\$).

- b.3) Hipótese O1- Selagem de juntas+Trincas(40%)+Juntas esborcinadas(10%) no ano 10 (5%) e no ano 20(5%).
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.20a, abaixo, apresenta a Hipótese O1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 6 para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 10 e 20.

Tabela 4.20a - Hipótese O1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	$N_f = N_{fc}=10^5$	$N_f = N_{fc}=10^6$	$N_f = N_{fc}=10^7$	$N_f = N_{fc}=5 \times 10^7$	$N_f = N_{fc}=10^8$
2	50,51	52,94	57,80	59,42	59,42
5	47,27	49,70	53,75	55,37	55,37
6	46,46	48,89	52,94	54,56	54,56
9	45,65	48,08	52,13	53,75	53,75

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.20b abaixo, apresenta a mesma hipótese O1 com a taxa de atratividade de 12%

Tabela 20b - Hipótese O1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	$N_f = N_{fc}=10^5$	$N_f = N_{fc}=10^6$	$N_f = N_{fc}=10^7$	$N_f = N_{fc}=5 \times 10^7$	$N_f = N_{fc}=10^8$
2	50,20	52,63	57,49	59,11	59,11
5	46,96	49,39	53,44	55,06	55,06
6	46,15	48,58	52,63	54,25	54,25
9	45,34	47,77	51,82	53,44	53,44

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

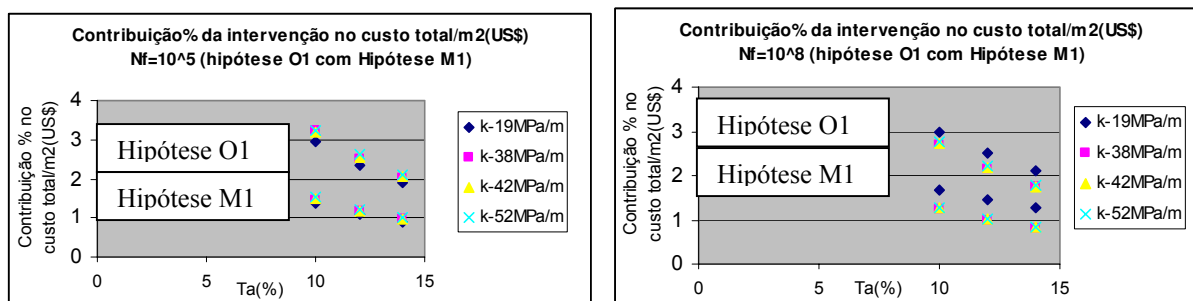
A tabela 4.20c a seguir, apresenta a mesma hipótese O1 com a taxa de atratividade de 14%

Tabela 4.20c - Hipótese O1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	49,95	52,38	57,24	58,86	58,86
5	46,71	49,14	53,19	54,81	54,81
6	45,90	48,33	52,38	54,00	54,00
9	45,09	47,52	51,57	53,19	53,19

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.17a e 4.17b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese O1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.17a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese O1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1

Nessa Hipótese O1, observa-se a mesma tendência da Hipótese N1, haja vista o mesmo número de intervenções, majorando-se, entretanto, os custos dessas intervenções.

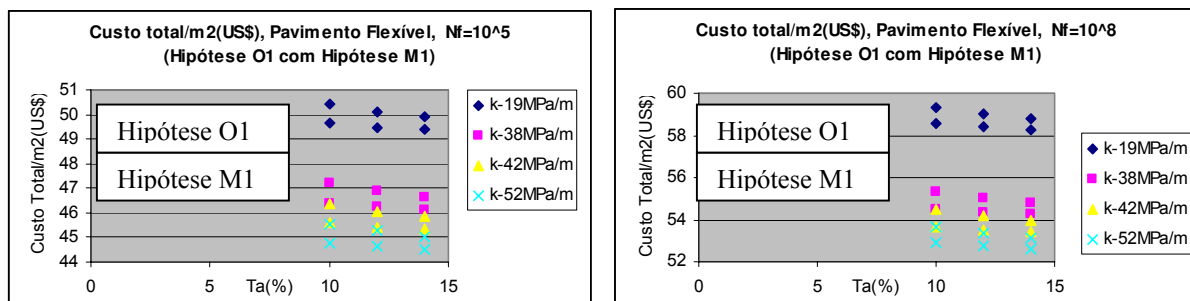
A Hipótese O1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) da ordem de 2,00% a 3,5% (Figura 4.17a) e de 1,8% a 3% (Figura 4.17b).

Comparando-se a Hipótese M1 com a Hipótese O1, observa-se que para Nf = 10⁵ a Hipótese M1 tem menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego (Nf = 10⁸), a Hipótese M1 continua tendo menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), haja vista que houve majoração nos custos dessa intervenção.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e manter o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total), à semelhança do que ocorre no Pavimento Flexível.

Portanto, pode-se concluir, também para o Pavimento Rígido, que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento o nível de tráfego, ao se manter o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.18a e 4.18b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses O1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.18a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese O1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1.

Ao se analisar a Figura 4.18a (nível de tráfego Nf = 10⁵), observa-se que o custo total/m² (US\$), da Hipótese O1 é maior que o da Hipótese M1. Quando se aumento o nível de tráfego para 10⁸, o custo total/m² (US\$) da Hipótese N1, continua sendo maior.

Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, diferentemente das hipóteses analisadas em relação ao Pavimento Flexível. Isso se justifica em face dos pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Neste caso, a Taxa de Amortização tem pouca influência no custo total/m² (US\$).

- b.4) P1 - Selagem de juntas+Trincas(40%)+Juntas esborcinadas (10%)+Trinca de canto(5%) no ano 10 (2%) e no ano 20(3%)
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.21a, abaixo, apresenta a Hipótese P1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6 para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instantes de manutenção nos anos 10 e 20.

Tabela 4.21a - Hipótese P1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	50,56	52,99	57,85	59,47	59,47
5	47,32	49,75	53,80	55,42	55,42
6	46,51	48,94	52,99	54,61	54,61
9	45,70	48,13	52,18	53,80	53,80

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.21b abaixo, apresenta a mesma hipótese P1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.21b - Hipótese P1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	50,23	52,66	57,52	59,14	59,14
5	46,99	49,42	53,47	55,09	55,09
6	46,18	48,61	52,66	54,28	54,28
9	45,37	47,80	51,85	53,47	53,47

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

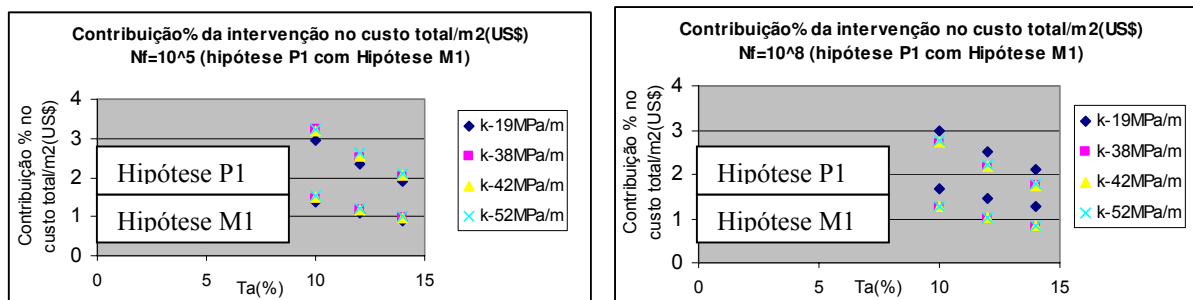
A tabela 4.21c abaixo, apresenta a mesma hipótese P1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.21c - Hipótese P1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	49,98	52,41	57,27	58,89	58,89
5	46,74	49,17	53,22	54,84	54,84
6	45,93	48,36	52,41	54,03	54,03
9	45,12	47,55	51,60	53,14	53,14

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.19a e 4.19b, a seguir, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese P1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.19a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese P1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese M1

Nessa Hipótese P1, observa-se a mesma tendência da Hipótese O1, haja vista o mesmo número de intervenções, majorando-se, entretanto, os custos dessas intervenções.

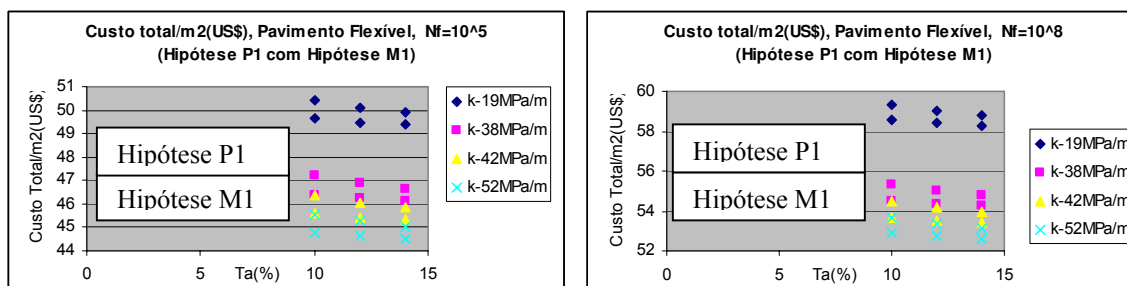
A Hipótese O1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) da ordem de 2% a 3,5% (Figura 4.19a) e de 2% a 3% (Figura 4.19b).

Comparando-se a Hipótese M1 com a Hipótese P1, observa-se que para $N_f = 10^5$ a Hipótese M1 tem menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese M1 continua tendo menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), haja vista que houve majoração nos custos dessa intervenção.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e manter o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total), à semelhança do que ocorre no Pavimento Flexível.

Portanto, pode-se concluir, também para o Pavimento Rígido, que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento o nível de tráfego, ao se manter o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.20a e 4.20b, a seguir, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses P1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.20 e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese P1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1.

Ao se analisar a Figura 4.20a (nível de tráfego Nf = 10⁵), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese P1 é maior que o da Hipótese M1. Quando se aumenta o nível de tráfego para 10⁸, o custo total/m² (US\$) da Hipótese P1 continua sendo maior.

Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, diferentemente das hipóteses analisadas em relação ao Pavimento Flexível. Isso se justifica em face dos pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Neste caso, a Taxa de Amortização tem pouca influência no custo total/m² (US\$).

b.5) Hipótese Q1- Pavimento igual da Av. das Amoreiras(GARNETT NETO) no ano 10
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.22a, abaixo, apresenta a Hipótese Q1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6 para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instante de manutenção no ano 10.

Tabela 4.22a - Hipótese Q1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	53,87	56,30	61,16	62,78	62,78
5	50,63	53,06	57,11	58,73	58,73
6	49,82	52,25	56,30	57,92	57,92
9	49,01	51,44	55,49	57,11	57,11

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.22b a seguir, apresenta a mesma hipótese Q1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.22b - Hipótese Q1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	53,06	55,49	60,35	61,97	61,97
5	49,82	52,25	56,30	57,92	57,92
6	49,01	51,44	55,49	57,11	57,11
9	48,20	50,63	54,68	56,30	56,30

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

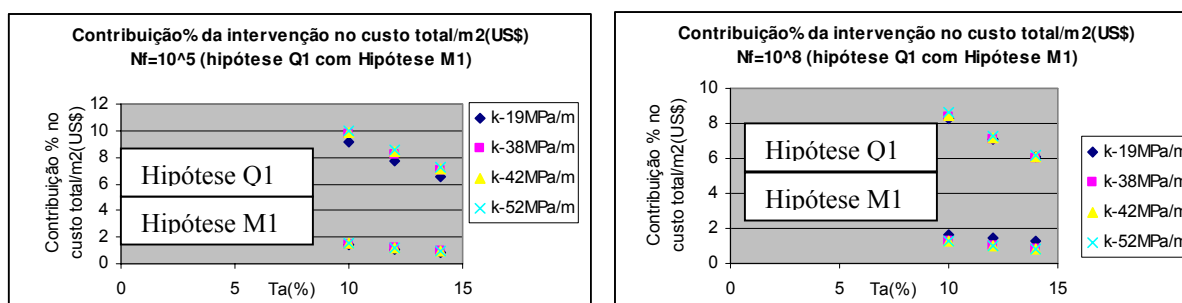
A tabela 4.22c abaixo, apresenta a mesma hipótese Q1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.22c - Hipótese Q1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	52,39	54,82	59,68	61,30	61,30
5	49,15	51,58	55,63	57,25	57,25
6	48,34	50,77	54,82	56,44	56,44
9	47,53	49,96	54,01	55,63	55,63

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.21a e 4.21b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese Q1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.21a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese Q1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1

Nessa Hipótese Q1, observa-se a mesma tendência da Hipótese P1, ainda que se tenham restringido a uma única intervenção, majorando-se, entretanto, os custos dessa intervenção a um valor superior ao da Hipótese P1.

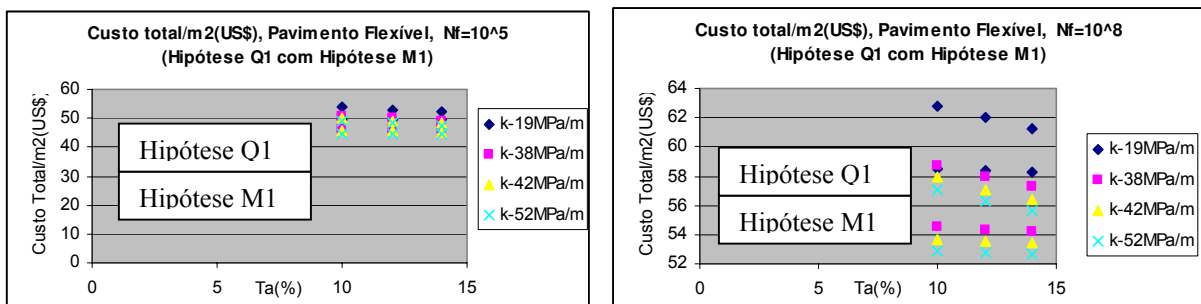
A Hipótese Q1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) da ordem de 6,5% a 10% (Figura 4.21a) e de 6% a 9% (Figura 4.21b).

Comparando-se a Hipótese M1 com a Hipótese Q1, observa-se que para $N_f = 10^5$ a Hipótese M1 tem menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego ($N_f = 10^8$), a Hipótese M1 continua tendo menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), ainda que tenha havido redução no número de intervenções e majoração nos custos dessa intervenção.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego e reduzir o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total), haja vista a influência da Taxa de Amortização quando se traz todos os valores a um mesmo patamar monetário e temporal através do VPL.

Portanto, pode-se concluir, também para o Pavimento Rígido, que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento o nível de tráfego, ao se reduzir o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.22a e 4.22b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses Q1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.22a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese Q1, para valores extremos de $N_f = 10^5$ e 10^8 , em comparação com a hipótese M1.

Ao se analisar a Figura 4.22a (nível de tráfego $N_f = 10^5$), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese Q1 é maior que o da Hipótese M1. Quando se aumenta o nível de tráfego para 10^8 , o custo total/m² (US\$) da Hipótese P1 continua sendo maior.

Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, diferentemente das hipóteses analisadas em relação ao Pavimento Flexível. Isso se justifica em face dos pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Neste caso, a Taxa de Amortização ainda que tenha aumentado, continua com pouca influência no custo total/m² (US\$).

b.6) Hipótese R1- Pavimento igual da Av. das Amoreiras (GARNETT NETO) no ano 20
Taxa de atratividade de 10%, 12% e 14%

A Tabela 4.23a, abaixo, apresenta a Hipótese R1 de intervenção na estrutura de pavimento inicial da Tabela 4.6 para horizonte de 20 anos, considerando-se a taxa de atratividade de 10% e instante de manutenção no ano 20.

Tabela 4.23a - Hipótese R1 – Taxa de atratividade de 10%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	64,92	67,35	72,21	73,83	73,83
5	61,68	64,11	68,16	69,78	69,78
6	60,87	63,30	67,35	68,97	68,97
9	60,06	62,49	66,54	68,16	68,16

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

A tabela 4.23b abaixo, apresenta a mesma hipótese R1 com a taxa de atratividade de 12%.

Tabela 4.23b - Hipótese R1 – Taxa de atividade de 12%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	62,29	64,72	69,58	71,20	71,20
5	59,05	61,48	65,53	67,17	67,17
6	58,24	60,67	64,72	66,34	66,34
9	57,43	59,86	63,91	65,53	65,53

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

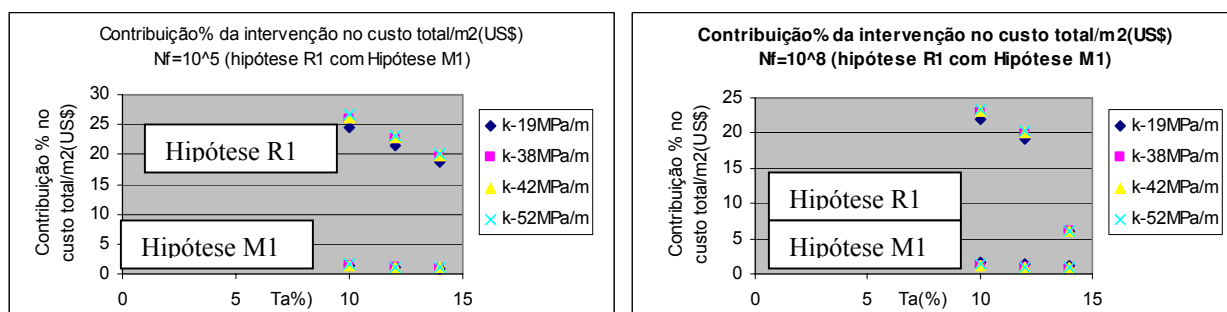
A tabela 4.23c abaixo, apresenta a mesma hipótese R1 com a taxa de atratividade de 14%.

Tabela 4.23c - Hipótese R1 – Taxa de atividade de 14%

CBR /custo(US\$)	Nf = Nfc=10 ⁵	Nf = Nfc=10 ⁶	Nf = Nfc=10 ⁷	Nf = Nfc=5x10 ⁷	Nf = Nfc=10 ⁸
2	60,13	62,56	67,42	69,04	69,04
5	56,89	59,32	63,37	64,99	64,99
6	56,08	58,51	62,56	64,18	64,18
9	55,27	57,70	61,75	63,37	63,37

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

As Figuras 4.23a e 4.23b, abaixo, apresentam o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para a Hipótese R1 em comparação à Hipótese M1



Figuras 4.23a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para a hipótese R1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1

Nessa Hipótese R1, observa-se a mesma tendência da Hipótese Q1 mantendo-se uma única intervenção majorando-se, entretanto, os custos dessa intervenção a um valor superior ao da Hipótese Q1.

A Hipótese R1 apresenta variações no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) da ordem de 18,5% a 26,5% (Figura 4.23a) e de 6% a 23% (Figura 4.23b).

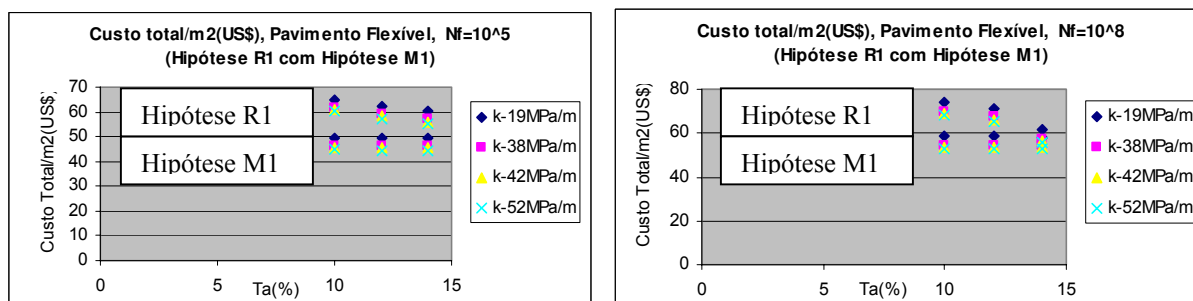
Comparando-se a Hipótese M1 com a Hipótese R1, observa-se que para Nf = 10⁵ a Hipótese M1 tem menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Aumentando-se o nível de tráfego (Nf = 10⁸), a Hipótese M1 continua tendo menor peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), mantendo-se uma única intervenção, majorando-se, entretanto, o custo dessa intervenção em relação à Hipótese Q1.

Isso se justifica em vista de, ao se aumentar o nível de tráfego, mantendo-se o número de intervenções com incremento no custo dessas intervenções, aumentar o custo relativo (diferença entre custo total), haja vista a influência da Taxa de Amortização quando se traz todos os valores a um mesmo patamar monetário e temporal através do VPL.

Portanto, pode-se concluir, também para o Pavimento Rígido, que a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar com o aumento

do nível de tráfego, mantendo-se o número de intervenções e aumentando-se os custos decorrentes dessas intervenções.

As Figuras 4.24a e 4.24b, abaixo, apresentam o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para as Hipóteses R1 em comparação à Hipótese M1.



Figuras 4.24a e b – Custo total/m²(US\$) para a hipótese R1, para valores extremos de Nf = 10⁵ e 10⁸, em comparação com a hipótese M1.

Ao se analisar a Figura 4.24a (nível de tráfego Nf = 105), observa-se que o custo total/m² (US\$) da Hipótese R1 é maior que o da Hipótese M1. Quando se aumenta o nível de tráfego para 108, o custo total/m² (US\$) da Hipótese R1 continua sendo maior.

O que se observa quando se varia o nível de tráfego e se aumenta o custo da intervenção é a tendência de, com o aumento da Taxa de Amortização, tais custos se igualarem.

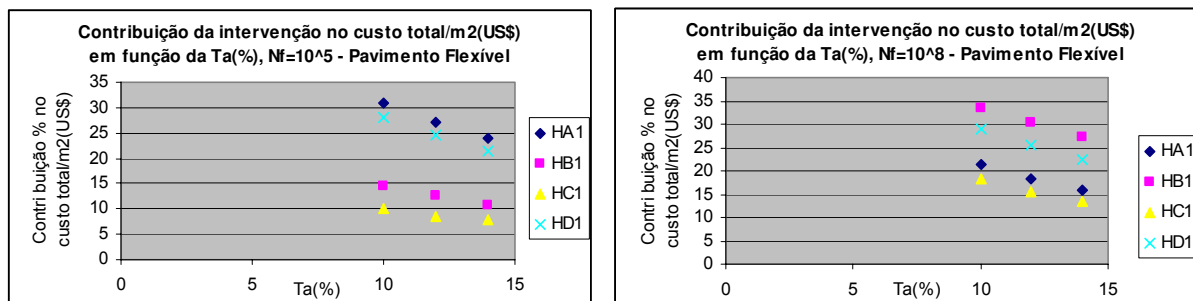
Portanto, há uma tendência em se reduzir o custo total do pavimento com o aumento da Taxa de Amortização relacionado ao tempo entre a construção inicial e suas intervenções com os custos decorrentes, em uma análise econômica de ciclo de vida de um pavimento.

4.6. Análise comparativa

4.6.1. Horizonte até 20 anos – Pavimento Flexível/ Rígido

As Figuras 4.25a e 4.25b, a seguir, apresentam, para cada hipótese, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para capacidade de suporte de subleito

variando entre CBR = 5% e CBR = 9%, e nível de tráfego variando de $N_f = 10^5$ e $N_f = 10^8$, considerando-se Pavimento Flexível.



Figuras 4.25a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para as diversas hipóteses estudadas – Pavimento Flexível

Em todas as hipóteses estudadas, pode-se concluir que, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, há uma redução no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Tal fato caracteriza a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica.

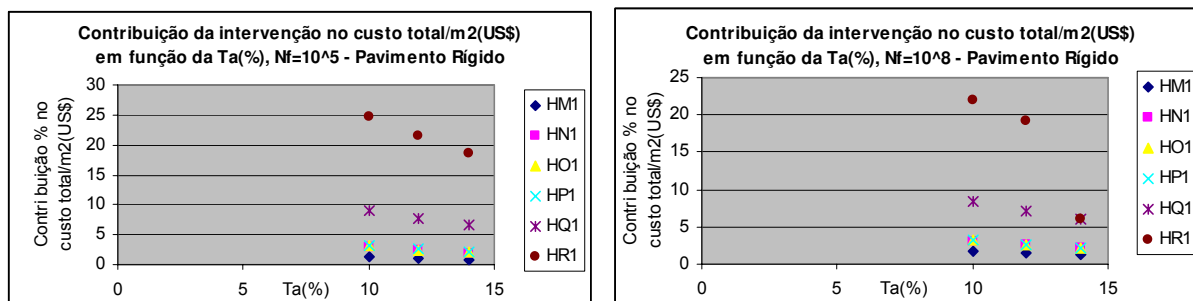
Os limites de peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), considerando-se nível de tráfego $N_f = 10^5$, estão configurados na Hipótese A1 como limite superior e na Hipótese C1 como limite inferior.

A Hipótese A1 congrega maior número de intervenções, se comparada com a Hipótese C1, e, conseqüentemente, maior custo. Pode-se deduzir, portanto, que, quanto maior for o custo da intervenção, para uma mesma da Taxa de Amortização e nível de tráfego, maior será o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

Entretanto, o que se observa quando se aumenta o nível de tráfego é que a Hipótese A1 se aproxima da Hipótese C1, que continua como limite inferior de peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Tal fato indica que, quando se aumenta o nível de tráfego (passa-se $N_f = 10^5$ para $N_f = 10^8$), reduz-se o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

As Figuras 4.26a e 4.26b, a seguir, apresentam, para cada hipótese, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) para capacidade de suporte de subleito

variando entre $\text{CBR} = 5\%$ e $\text{CBR} = 9\%$, e nível de tráfego variando de $N_f = 10^5$ e $N_f = 10^8$, considerando-se Pavimento Flexível.



Figuras 4.26a e b – Peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m²(US\$) para as diversas hipóteses estudadas – Pavimento Rígido

Em todas as hipóteses estudadas, da mesma forma anterior, pode-se concluir que, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, há uma redução no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$). Tal fato caracteriza a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica.

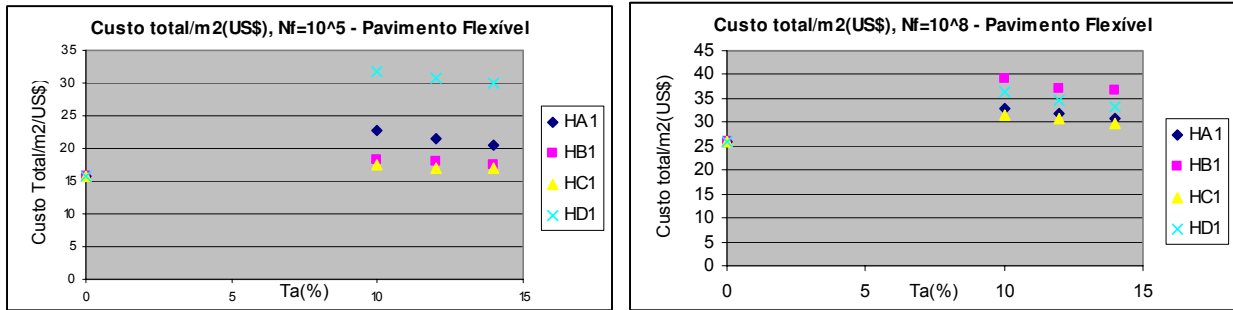
Os limites de peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), considerando-se nível de tráfego $N_f = 10^5$, estão configurados na Hipótese R1 como limite superior e na Hipótese M1 como limite inferior.

A Hipótese R1 congrega uma única intervenção com custo majorado da Hipótese Q1, que também congrega uma única intervenção. As outras hipóteses (M1, N1 e O1) congregam duas intervenções, majorando-se o custo dessas intervenções da Hipótese M1 para a Hipótese O1.

Pode-se deduzir desempenho semelhante às hipóteses decorrentes do Pavimento Flexível; portanto, quanto maior for o custo da intervenção, para a mesma da Taxa de Amortização e o mesmo nível de tráfego, maior será o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

As Figuras 4.27a e 4.27b, a seguir, apresentam, para cada hipótese, o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para capacidade de suporte de subleito

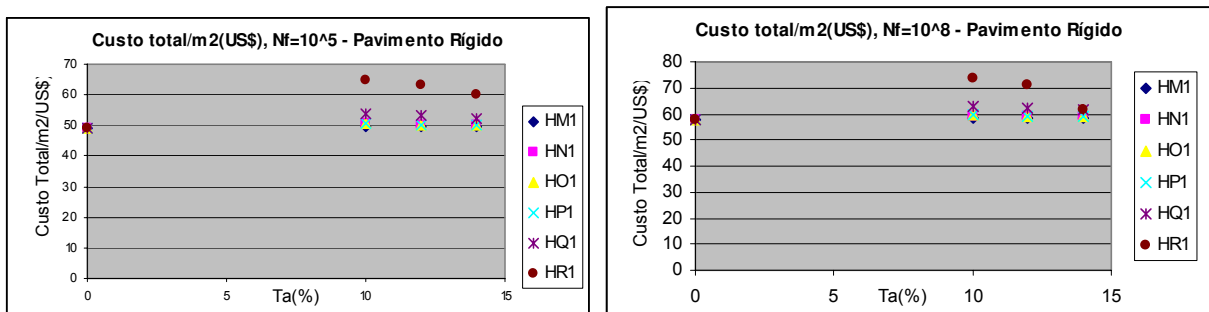
variando entre CBR = 5% e CBR = 9%, e nível de tráfego variando de $Nf = 10^5$ e $Nf = 10^8$, considerando-se Pavimento Flexível.



Figuras 4.27a e b - Custo total/m²(US\$) para as diversas hipóteses estudadas- Pavimento Flexível

Quando se analisam todas as hipóteses estudadas, pode-se caracterizar a forte influência da Taxa de Amortização no custo total/m² (US\$) se se considerar que o aumento no nível de tráfego e o aumento o custo da intervenção induzem os custos a se manterem na mesma proporção.

As Figuras 4.28a e 4.28b, abaixo, apresentam, para cada hipótese, o custo total/m² (US\$) do pavimento (custo inicial + custo das intervenções) para capacidade de suporte de subleito variando entre CBR = 5% e CBR = 9%, e nível de tráfego variando de $Nf = 10^5$ e $Nf = 10^8$, considerando-se Pavimento Rígido.



Figuras 4.28a e b - Custo total/m²(US\$) para as diversas hipóteses estudadas- Pavimento Rígido

Quando se analisam todas as hipóteses estudadas, pode-se caracterizar a forte influência da Taxa de Amortização no custo total/m² (US\$), se se considerar que o aumento no nível de tráfego e o aumento o custo da intervenção induzem os custos a tenderem a se igualar. Esse fato se observa quando o custo da intervenção é majorado significativamente, como o adotado nas Hipóteses Q1 e R1 em comparação às Hipóteses M1, N1 e O1.

4.7 Análises e comparações finais

Os estudos desenvolvidos abrem ensejo a diversas conclusões que podem servir de referência para análise econômica comparativa entre tipos de pavimentos. Portanto, serão apresentadas a seguir as conclusões obtidas em decorrência dos estudos desenvolvidos e da metodologia de dimensionamento de pavimento adotada.

Ressalta-se, entretanto, que a variação no valor de CBR pesa muito pouco no custo da matéria-prima de maior peso na composição de uma estrutura de pavimento dimensionada pelo método da USACE, introduzido no Brasil por SOUZA (Pavimento Flexível) e pelo método PCA/66 (Pavimento Rígido).

A intenção do método, para o caso de Pavimento Flexível é proteger as camadas inferiores, particularmente o subleito contra ruptura ou cisalhamento por fadiga do subleito. Para o caso de Pavimento Rígido a intenção é proteger a parte superior da Placa de Concreto de Cimento Portland de trincamento decorrente da fadiga.

O importante a observar desse método é que a vida útil dos Pavimentos Flexíveis é mais sensível ao nível de tráfego, à capacidade de suporte do subleito e a espessura total do Pavimento. Portanto, não é sensível ao tipo de material utilizado.

Para Pavimentos Rígidos a vida útil é mais sensível à espessura da Placa, à resistência a tração na flexão e ao nível de tráfego. Portanto, não é sensível ao material de sub-base ou à capacidade de suporte do subleito, sendo como consequência, mais recomendado para subleito de baixa capacidade de suporte.

Observou-se ser possível buscar um ponto de equilíbrio decorrente de cada estrutura de pavimento em função da taxa de atratividade, considerando-se tráfegos compatíveis, variando o CBR de subleito para determinados custos iniciais e cenários de intervenção estabelecidos.

Tal conclusão teve por base a divisão do custo total/m² (US\$) de Pavimentos Flexíveis por 10 (anos) e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 (anos).

Pode-se observar também, por essa simulação inicial, majorando-se o preço do CAP em 20,36% e minorando-se o preço do cimento em 28,53%, que haverá um momento, função do tráfego, em que o preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Rígido será inferior ao do Pavimento Flexível.

Em se tratando custo inicial ($T_a = 0$), não se observaram variações significativas no custo/m² (US\$) para valores extremos de $N_f = 10^5$ e $N_f = 10^8$.

Entretanto, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tem participação na decisão. Quanto maior a Taxa de Amortização e maior o nível de tráfego, menor o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), em se tratando de uma análise econômica.

A influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a diminuir com o aumento o nível de tráfego, ao se diminuir o número de intervenções e os custos decorrentes dessas intervenções.

Entretanto, a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar, com o aumento o nível de tráfego, ao se reduzir o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

Para uma mesma capacidade de suporte do subleito, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, o custo total/m² (US\$) diminui, caracterizando-se a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, quando de analisam pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

Quando se aumenta o nível de tráfego e o custo da intervenção, o custo total tende a se igualar. Esse fato se observa quando o custo da intervenção é majorado significativamente em relação a um custo de referência inicial.

Finalmente, pode-se concluir que, em uma análise econômica, o custo da intervenção é decisivo. Portanto, ao se desenvolver uma análise econômica visando-se optar por um tipo de estrutura de pavimento, deve-se avaliar não somente o custo inicial do pavimento, mas sim o custo total, que envolve o custo inicial acrescido do custo das intervenções.

5. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE TIPOS DE PAVIMENTOS EM OPERAÇÃO PARA VÁRIOS HORIZONTES

5.1. Considerações iniciais

O procedimento metodológico adotado no experimento envolveu simulações de causa e efeito, em igualdade de condições de contorno considerando períodos mínimos de dimensionamento - 10 anos para Pavimento Flexível e 20 anos para Pavimento Rígido. Partiu, portanto, do pressuposto de que a estrutura de pavimento a ser adotada está inserida em um mesmo ambiente, respondendo por desempenhos específicos em função do tipo de material utilizado.

Esta avaliação tem como objetivo uma aplicação dos estudos desenvolvidos de forma a nortear as considerações de uma análise de custo de ciclo de vida quando a análise envolve variações entre tipos de pavimentos e materiais utilizados como camada de base e que muitas vezes, como é o caso do concreto rolado é apresentado como uma solução econômica de mercado, considerando apenas o seu custo inicial.

Portanto é uma variação do experimento onde se emprega cenários de intervenção ao longo de ciclos de vida de 10 e 40 anos, nos quais os materiais são variados e referenciados a um

mesmo patamar monetário e temporal através da variável dependente Valor Presente Líquido (VPL). Identifica o ponto de equilíbrio econômico entre o uso de Pavimento Flexível ou de Pavimento Rígido em função do nível de tráfego e da capacidade de suporte de subleito, relacionado ao custo/m² e à taxa de amortização. A Figura 2.5 abaixo apresenta o fluxograma de atividades da avaliação.

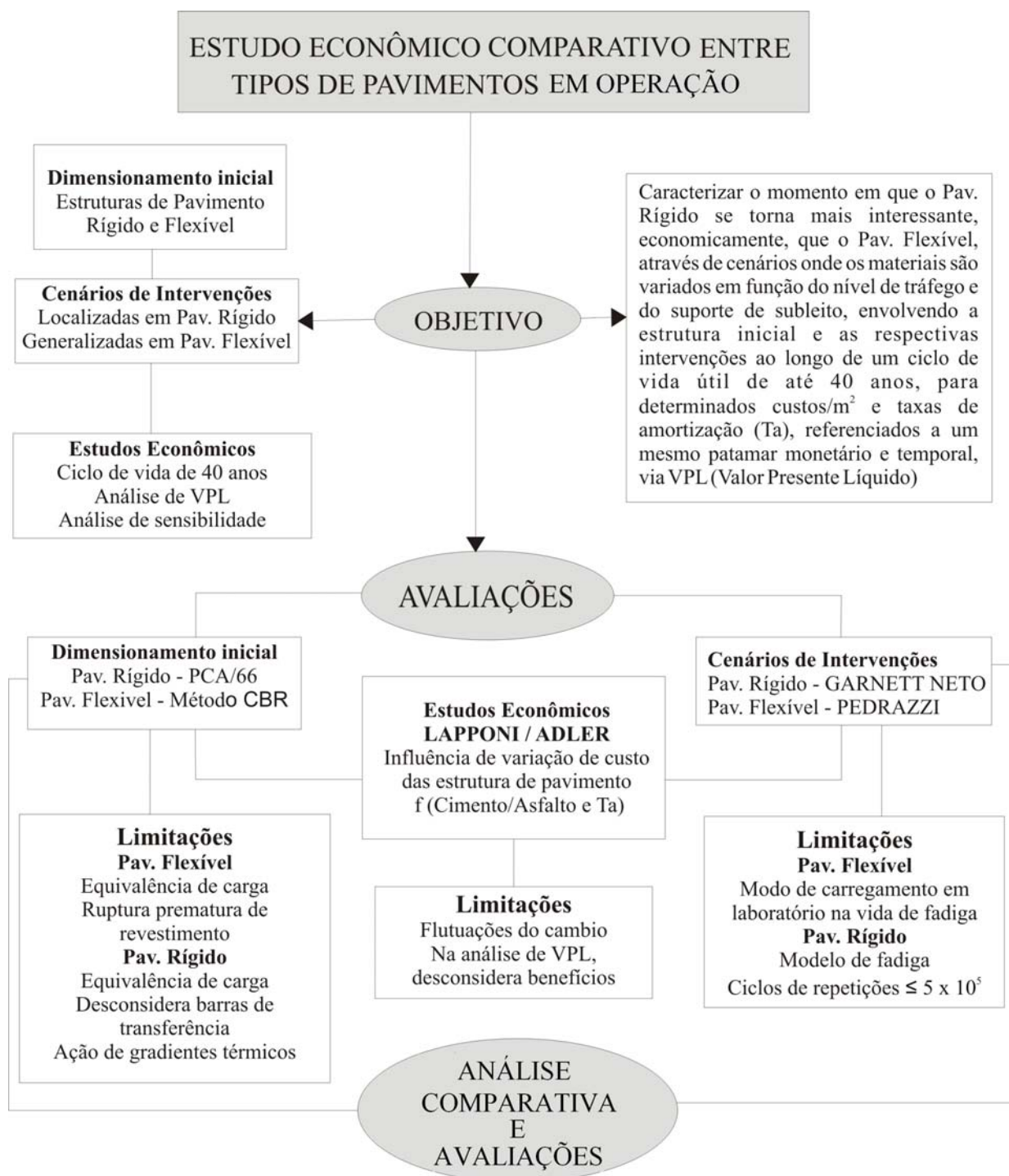


Figura 5.1 - Fluxograma de atividades da metodologia proposta

Estuda-se portanto, dentro desta metodologia para o caso de pavimentos Flexíveis, uma composição única de tráfego a ciclos de vida de 10 a 40 anos, considerando a ruptura de subleito decorrente do método CBR adaptado por SOUZA (48) em face de ser este um método tradicional usado nas estradas brasileiras e, segundo REGIS (49), apresentar espessuras de pavimentos conservativas.

Os cenários envolvem diversas composições estruturais, sobre subleito regularizado, variando os valores de CBR entre 2%, 5%, 6% e 9%, considerando:

- camada de rolamento: CAUQ – capa e binder, e tratamento superficial duplo (TSD);
- base: BGS (Brita Graduada Simples), solo cimento (SC) e concreto rolado (CR);
- sub-base: solo estabilizado granulometricamente;
- reforço de subleito: material de empréstimo com $\text{CBR} > 2\%$

Os valores de CBR envolvidos nos cenários foram escolhidos de forma a permitir estabelecer os limites inferiores e superiores para a necessidade de reforço de subleito, como é o caso dos valores de CBR 2% e 9%. Os valores de CBR de 5% e 6% foram considerados por serem intermediários, visando caracterizar a influência de pequenas variações de CBR na espessura de projeto do pavimento.

Os materiais considerados na composição das estruturas de pavimentos comportam duas abordagens. A primeira está ligada à tradição do uso da base de brita graduada e do solo granular em estruturas de pavimentos, decorrente do próprio método CBR. A segunda, envolvendo bases cimentadas de SC e CR, está ligada à consideração de Pavimento Flexível Semi-Rígido e à influência do custo e do desempenho desses materiais, para efeito de comparação ao Pavimento Rígido, procurando caracterizar o emprego dessas bases como vantajoso redutor de espessuras de placas, tornando o Pavimento Rígido mais competitivo.

Dessa forma, é utilizado no dimensionamento inicial das estruturas de Pavimentos Flexíveis, vida útil de 10 anos, múltiplos cenários para CBR de 2%, 5%, 6% e 9%, cinco níveis de tráfego 10^5 , 10^6 , 10^7 , 5×10^7 e 10^8 , carga-padrão de 8,2 tf, revestimento em CAUQ e TSD, função do método adotado, base de BGS, SC, CR, sub-base de solo estabilizado granulometricamente e reforço de subleito, quando $\text{CBR} < 2\%$.

No dimensionamento dos Pavimentos Rígidos é empregado vida útil de 20 anos, múltiplos cenários compatíveis aos do Pavimento Flexível, utilizando-se de placa de Concreto Cimento Portland simples, tensão de tração na flexão de 4,5 MPa, sub-base de BGS, SC e CR com módulo de reação do terreno de fundação (K), função da espessura dessa sub-base fixada em 10 cm sobre subleito com mesmos CBR que os estabelecidos para o Pavimento Flexível sem considerar reforço de subleito.

O tráfego utilizado a ser utilizando na avaliação, tanto para Pavimento Flexível como para Pavimento Rígido está apresentado no Tabela 5.1, a seguir, decorrente da dissertação de PEDRAZZI (21), visando, na análise econômica, os cenários de manutenção e restauração.

Tabela 5.1 - Classificação do tipo de tráfego em função do VDM

Tipo de tráfego	VDM (Veículos/dia)	VDM médio (veículo/dia)
Muito pesado	2000-1001	1501
Pesado	1000-303	651
Meio pesado	300-101	201
Médio	100-21	61
Leve	20-4	12
Muito leve	<3	Desconsiderado

NOTA: Adaptado de PEDRAZZI(21)

O tráfego entretanto para ser utilizado em Pavimentos Rígidos, dentro da metodologia adotada considerando o nível de tráfego para 20 anos, está compatibilizado no Tabela 5.2, a seguir

Tabela 5.2 – Nível de tráfego (configuração de eixo, frequência e carga)

PAVIMENTO FLEXÍVEL – 10 anos	PAVIMENTO RÍGIDO – 20 anos		
Nf, função carga padrão de 8,2 tf	CLASSE	CARGA/EIXO (tf)	FREQUENCIA N°. solicitações
10 ⁵	ESRD	9,0	23.594
		9,5	11.794
10 ⁶	ESRD	10,0	120.917
		11,0	58.984
10 ⁷	ESRD	12,0	395.193
		14,0	197.596
5x10 ⁷	ESRD	13,0	852.319
		15,0	427.634
10 ⁸	ETD	10,0	639.976
	ESRD	14,0	1.377.276
		15,0	690.113
	ETD	13,0	687.164
		14,0	345.056

NOTA: Adaptado de PEDRAZZI (21)

O parâmetro VPL será a variável dependente utilizada como elemento decisor, visando caracterizar o momento em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível, através de cenários nos quais os materiais são variados em função do nível de tráfego e do suporte de subleito, envolvendo a estrutura inicial e as respectivas intervenções ao longo de um ciclo de vida útil de até 40 anos, para determinados custos/m² e Ta, referenciados a um mesmo patamar monetário e temporal.

As variáveis independentes, como a Ta ou a taxa de juros considerada como da oportunidade de capital, o valor do investimento inicial, o período de tempo ao longo do ciclo de vida do pavimento, as intervenções e considerações sobre os materiais utilizados, principalmente os de maior peso decisor, como o asfalto e o cimento, compõem a matriz de decisão.

Segundo KAAN *et al.* (2), o valor do parâmetro VPL é extremamente sensível à Ta em uma análise de custo de ciclo de vida de pavimentos (LCCA). O parâmetro VPL, segundo LAPPONI(43), é expresso pela equação, 3.1

Baixas Taxas de Amortização favorecem projetos com grandes investimentos. Altas taxas de Amortização favorecem projetos com altos custos futuros, sejam estes do investidor, do usuário ou da sociedade como um todo.

A Figura 5.2, a seguir apresentada, permite observar que o período de análise de 40 anos de ciclo de vida útil do pavimento adotado é bastante representativo para o estudo em questão.

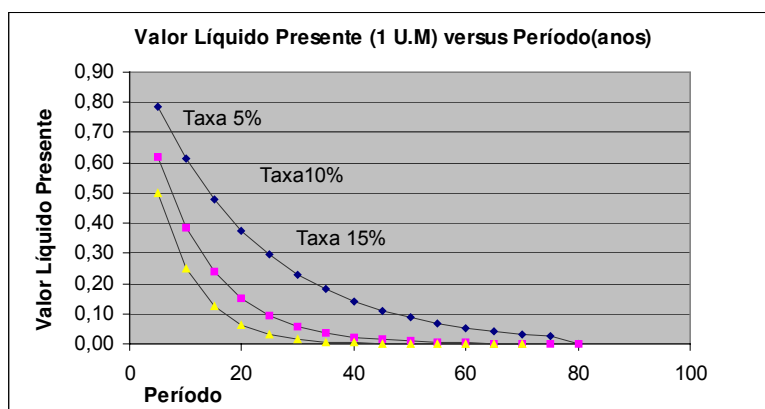


Figura 5.2. Variação do VPL, função da Taxa de Amortização (Ta) ao longo do tempo.
NOTA: Adaptado de KAAN et al.(2)

Em termos de composições de custos de materiais e serviços adotou-se os do DER-SP, conforme apresentado nas Tabelas 5.3a e 5.3b, a seguir, que declinam o custo/m² dos serviços considerados nesta avaliação, tendo como referência valores de composição de custos de materiais e serviços a valores de dezembro de 2005.

Tabela 5.3a - Pavimento Flexível, custo dos serviços DER/SP a valores de DEZ/05

Aplicação (Código DER/SP)	Tipo de Serviço	un	Valor em (R\$)	Valor em (US\$)
Pavimento Flexível				
23.06.02	Tratamento Sup.Duplo (TSD)	M ³	232,10	87.58
23.08.02.01	CAUQ Binder Grad.B S/DOP	M ³	326,35	123.15
23.08.03.01	CAUQ CAPA GR-C S/DOP	M ³	371,00	140.00
23.05.01	Imprimação	M ²	2,42	0.91
23.05.02	Pintura de Ligação	M ²	0,98	0.37
23.04.03.01	Brita Graduada Simples(BGS)	M ³	81,49	37.90
23.04.01.10	Solo Cimento(SC)	M ³	119,10	44.94
23.11.11	Concreto Rolado(CR) ¹	M ³	140,60	53.05
23.04.05.01	Solo Estabil.Granulom.(SEG)	M ³	47,46	17,91
23.03.01	Reforço de Subleito,CBR>2%	M ³	3,57	1.35

NOTA: Adaptado do DER/SP

(1) equivalente a concreto pobre para base de pavimento rígido

Tabela 5.3b - Pavimento Rígido, custo dos serviços DER/SP a valores de DEZ/05

Aplicação	Tipo de Serviço	un	Valor em (R\$)	Valor em (US\$)
Pavimento Rígido				
23.11.04.01	Placa de Concreto Simples, 4,5 MPa, aplicado com formas deslizantes		429,35	162.01
23.04.03.01	Brita Graduada Simples(BGS)	M ³	81,49	37.90
23.04.04.05	Solo Cimento(SC)	M ³	119,10	44.94
23.04.05.01	Concreto Rolado(CR) ¹	M ³	140,60	53.05
24.08.02	Ressagem de Junta ²	ml	104,40	39.40

NOTA: Adaptado do DER/SP.

(1) Equivalente a concreto pobre para base de pavimento rígido; (2) Junta elástica em PVC 0-22

As composições de custos de materiais e serviços (DER-SP) têm como elemento de maior peso o custo/ton do Cimento Portland, com 54%, e o custo/ton do CAP 20, com 59%.

A Figura 5.3 a seguir, apresenta a tendência, ao longo do tempo, de se estabilizar a relação entre o custo/ton do Cimento Portland e o custo/ton do CAP 20, decorrente de um ambiente estável, saindo do entorno de 90% e mantendo-se no entorno de 21% em DEZ/2005.

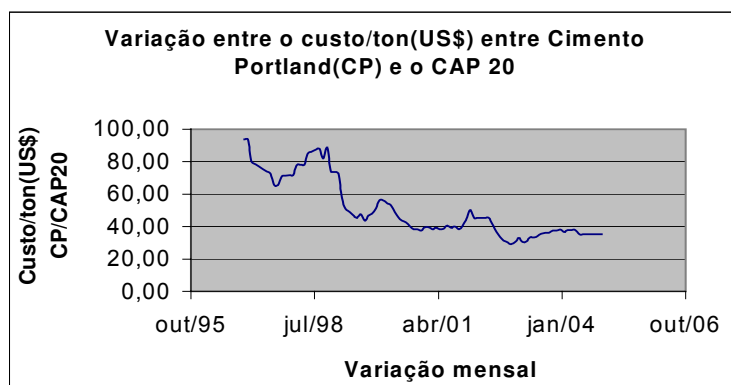


Figura 5.3 - Variação da relação custo/ton(US\$) do Cimento Portland(CP) e CAP 20

Tendo abordado a metodologia proposta, passa-se a seguir à sua aplicação na definição do ponto de equilíbrio em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível, e ainda a uma análise de sensibilidade sobre os insumos de maior peso no custo/m² do pavimento e sobre a influência do custo do cimento e do asfalto, nesse ponto de equilíbrio.

5.2. Dimensionamento das estruturas de pavimentos

Segundo BASÍLIO (52), o conceito de vida útil do pavimento é aplicado a um período que compreende desde a data de liberação ao tráfego até os procedimentos de intervenções que afetem 50% de sua área total. Ele cita que a essa vida útil há uma correspondente “vida mediana”, quando os procedimentos de intervenções afetam 10% de sua área total.

A proposta desta avaliação não leva em consideração esse conceito de vida útil. Utiliza o dimensionamento inicial do pavimento pelo método de SOUZA (48), para um período de 10 anos. O conceito de vida útil é o considerado através da metodologia de cenários propostos por PEDRAZZI (21) na composição do custo/m², da intervenção.

Neste contexto, foram adotadas as seguintes estruturas de Pavimento Flexível para o desenvolvimento dos estudos econômicos, ora apresentados nas Tabelas 5.4a a 5.4c.

Tabela 5.4a - Dimensionamento inicial, $N_f = 10^5$ e 10^6 , Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)						
CBR(%)	TSD/mm	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)	SBG/mm	Ref.sl /mm
2	-	220	-	-	170	550
		-	160	-	160	560
		-	-	130	170	550
5	-	220	-	-	170	190
		-	160	-	160	200
		-	-	130	170	190
6	-	220	-	-	170	140
		-	160	-	160	140
		-	-	130	170	140
9	-	220	-	-	170	-
		-	160	-	160	-
		-	-	140	140	-

Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)						
CBR(%)	CAUQ/mm	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)	SBG/mm	Ref.sl /mm
2	50	145	-	-	200	660
		-	100	-	210	660
		-	-	100	170	660
5	50	140	-	-	200	240
		-	100	-	210	230
		-	-	100	170	230
6	50	140	-	-	200	170
		-	100	-	210	160
		-	-	100	170	160
9	50	140	-	-	200	-
		-	100	-	200	-
		-	-	100	170	-

NOTA: Método de SOUZA (48), continuação da Tabela 5.4a

Tabela 5.4b-Dimensionamento inicial,Nf=10⁷ e 5x10⁷,Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil

Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)						
CBR(%)	CAUQ/mm	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)	SBG/mm	Ref.sl /mm
2	75	120	-	-	230	770
		-	100	-	200	770
		-	-	100	170	760
5	75	120	-	-	230	270
		-	100	-	170	270
		-	-	100	130	270
6	75	120	-	-	230	190
		-	100	-	165	260
		-	-	100	120	310
9	75	120	-	-	230	-
		-	100	-	180	-
		-	-	100	140	-

Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)						
CBR(%)	CAUQ/mm	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)	SBG/mm	Ref.sl /mm
2	100	100	-	-	240	840
		-	100	-	190	840
		-	-	100	150	840
5	100	100	-	-	240	300
		-	100	-	190	290
		-	-	100	150	290
6	100	100	-	-	230	210
		-	100	-	180	210
		-	-	100	140	210
9	100	100			230	-
			100		180	-
				100	140	-

NOTA: Método de SOUZA (48), continuação da Tabela 5.4b.

Tabela 5.4c - Dimensionamento inicial, Nf=10⁸, Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil

Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)						
CBR(%)	CAUQ/mm	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)	SBG/mm	Ref.sl /mm
2	125	100	-	-	190	870
		-	100	-	140	870
		-	-	100	100	870
5	125	100	-	-	190	290
		-	100	-	140	310
		-	-	100	100	310
6	125	100	-	-	170	240
		-	100	-	130	230
		-	-	100	100	220
9	125	100			180	-
			100		130	-
				100	100	-

NOTA: Método de SOUZA (48).

Em se tratando de Pavimento Rígido, segundo PITA (35), para diminuir a possibilidade de infiltração de água e de materiais incompressíveis pelas juntas, é necessária pelo menos a

substituição da resselagem de juntas, em função do tempo de vida útil do material, a cada 10 anos. O conceito de vida útil é o considerado através da metodologia de cenários propostos por GARNETT NETO (32) considerando a recomendação de PITA (36) na composição do custo inicial/m². Dentro desse contexto, são apresentadas as Tabelas 5.4d a 5.4f.

Tabela 5.4d - Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^5$ e 10^6 , Pavimento Rígido, 20 anos de Vida útil

$N_f=10^5$ equivalente à : CLASSE CARGA/EIXO No. DE SOLICITAÇÕES ESRD 9,0 tf 23.594 9,5 tf 11.794					
CBR(%)	K(MPa/m)	PLACA(mm)	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)
2	19	200	100	-	-
	50	170	-	100	-
	65	165	-	-	100
5	38	180	100	-	-
	90	155	-	100	-
	111	150	-	-	100
6	42	175	100	-	-
	98	155	-	100	-
	120	150	-	-	100
9	52	170	100	-	-
	115	150	-	100	-
	140	145	-	-	100
$N_f=10^6$ equivalente à : CLASSE CARGA/EIXO No. DE SOLICITAÇÕES ESRD 10,0 tf 120.917 11,0 tf 58.984					
CBR(%)	K(MPa/m)	PLACA(mm)	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)
2	19	215	100	-	-
	50	185	-	100	-
	65	180	-	-	100
5	38	195	100	-	-
	90	170	-	100	-
	111	165	-	-	100
6	42	190	100	-	-
	98	170	-	100	-
	120	165	-	-	100
9	52	185	100	-	-
	115	165	-	100	-
	140	160	-	-	100

NOTA: Método da PCA/66 (50).

Tabela 5.4e -Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^7$ e 5×10^7 , Pavimento Rígido, 20 anos de Vida útil

Nf=10 ⁷ equivalente à : CLASSE CARGA/EIXO No. DE SOLICITAÇÕES					
		ESRD	12,0 tf	395.193	
			14,0 tf	197.596	
CBR(%)	K(MPa/m)	PLACA(mm)	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)
2	19	245	100	-	-
	50	210	-	100	-
	65	205	-	-	100
5	38	220	100	-	-
	90	195	-	100	-
	111	185	-	-	100
6	42	215	100	-	-
	98	190	-	100	-
	120	185	-	-	100
9	52	210	100	-	-
	115	185	-	100	-
	140	180	-	-	100
Nf=5x10 ⁷ equivalente à : CLASSE CARGA/EIXO No. DE SOLICITAÇÕES					
		ESRD	13,0 tf	852.319	
			15,0 tf	427.634	
		ETD	10,0 tf	639.634	
CBR(%)	K(MPa/m)	PLACA(mm)	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)
2	19	255	100	-	-
	50	220	-	100	-
	65	210	-	-	100
5	38	230	100	-	-
	90	200	-	100	-
	111	195	-	-	100
6	42	225	100	-	-
	98	200	-	100	-
	120	190	-	-	100
9	52	220	100	-	-
	115	195	-	100	-
	140	185	-	-	100

NOTA: Método da PCA/66 (50).

Tabela 5.4f - Dimensionamento inicial, carga/eixo equivalente à $N_f=10^8$, Pavimento Rígido, 20 anos de Vida útil

Nf=10 ⁸ equivalente à : CLASSE CARGA/EIXO No. DE SOLICITAÇÕES					
		ESRD	14,0 tf	1.377.276	
			15,0 tf	690.113	
		ETD	13,0 tf	687.164	
			14,0 tf	345.056	
CBR(%)	K(MPa/m)	PLACA(mm)	Base/mm(BG)	Base/mm(SC)	Base/mm(CR)
2	19	255	100	-	-
	50	220	-	100	-
	65	210	-	-	100
5	38	230	100	-	-
	90	200	-	100	-
	111	195	-	-	100
6	42	225	100	-	-
	98	200	-	100	-
	120	190	-	-	100
9	52	220	100	-	-
	115	195	-	100	-
	140	185	-	-	100

NOTA: Método da PCA/66 (50).

5.3. Cenários de Intervenções

5.3.1 Pavimento Flexível

O critério para a seleção da estratégia de intervenção adotado baseou-se nas condições simuladas de defeitos de revestimento e defeitos estruturais quantificando os níveis de deterioração pela variação do PSI (Present Serviceability Index) ao longo do tempo para revestimento em TSD e CAUQ propostos por PAIVA e PEDRAZZI (53), aplicado à metodologia de PEDRAZZI (21) e estão apresentados na tabela 5.5 e tabelas 5.6a e 5.6b, a seguir.

Tabela 5.5 - Critério de intervenção ao longo do tempo

Ano de intervenção A partir da data zero	PSI	Faixa de referência	Estratégia de intervenção
2	3,6	$2,6 \leq \text{PSI} \leq 4,0$	Manutenção
4	3,3	$2,6 \leq \text{PSI} \leq 4,0$	Manutenção
8	2,4	$2,1 \leq \text{PSI} \leq 2,50$	Reforço
10	1,8	$1,5 \leq \text{PSI} \leq 2,0$	reconstrução

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI (53)

Tabela 5.6a - Cenário de causa e efeito, considerando o PSI, com revestimento em TSD.

PSI	FC-1	D	ALP	SV	O	SV	P	Dc
3,8	10		10	8	10	15		60
3,6	35		10	8	10	15		120
3,0		35	35	15				90
2,4		35	10	15	10	30	35	120

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI (53)

Tabela 5.6b - Cenário de causa e efeito, considerando o PSI, com revestimento em CAUQ.

PSI	FC-1	FC-2	ATP	SV	0	SV	Dc
3,8	10		10	8			90
3,4	10		10	8	10	15	60
2,8	35		35	8			90
2,3		35	35	15			90

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI (53)

Os defeitos relacionados ao PSI, para os casos de revestimento em TSD e CAUQ na da política de M&R, decorrente de estudos de PAIVA e PEDRAZZI (53), estão apresentados no Tabela 5.7, a seguir e foram desenvolvidos pela equação proposta por PEREIRA e GONTIJO (54) em função do Índice de Gravidade Global (IGG) aplicado à metodologia proposta por PEDRAZZI (21).

Tabela 5.7 -Defeitos em Pavimento Flexível, relacionado ao PSI

Defeitos	Trincamentos classe (FC-1, FC-2 , FC-3) .Desgaste(D)Afundamento Plástico de Trilha de Roda(APT),Afundamento Plástico Localizado(ALP),Ondulação(O) , Panela(P)	
Frequência de ocorrência	0%, 10%, 35% ou 75%	
Severidade	ATP/ALP (afundamentos)	8,15 ou 25 mm – revestimento CAUQ 8 ou 15 mm – revestimento em TSD
	O(ondulação)	15 ou 30 mm
	P(panela)	15, 25 ou 50 mm
Deflexão	60, 90, 120 ou 150 (10^{-2} mm)	

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI(53)

5.3.2 Pavimento Rígido

Os cenários de intervenção em Pavimentos Rígidos são os decorrentes da aplicação da metodologia proposta por GARNETT NETO (32) em função da evolução dos defeitos observados em 111 placas (área de 1440m²) na Avenida das Amoreiras, em Campinas, SP, gerando a curva de sobrevivência, fixando serviços de resselagem de juntas a cada 10 anos a partir da data zero.

As Tabelas 5.8 e 5.9, a seguir, apresentam os tipos de defeitos considerados, os serviços envolvidos e os materiais adotados, com os custos decorrentes. Ainda que não constem da Tabela 5.8 os tipos de defeitos previstos para o período de 32 a 40 anos, estes são uma continuidade da curva de sobrevivência de GARNETT NETO (32).

Tabela 5.8 -Evolução de defeitos, em Pavimento Rígido, durante um período de 40 anos

Tipo de defeito	Grau de Severidade	Placas afetadas /idade do pavimento em anos									
		12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Placas divididas	A	5	5,5	6,2	6,8	7,6	8,5	9,4	10,4	11,5	12,8
Placas divididas	B	5	5,5	6,6	7,5	8,5	9,7	10,9	12,3	13,8	13,9
J.esborcinadas	A	7	7	7	7	7	7	7,1	7,1	7,1	6,5
Quebras canto	A	3	3	3	3	3	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
Fissuras lineares	A	22	22,1	22,5	22,9	23,4	23,9	24,4	25,1	25,7	25,5
Fissuras lineares	M e B	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO(32).Área considerada (1440m²) equivalente a 111 placas com 3,6x3,6mx0,18m, tendo 11% da área com placas divididas e fissuradas em 12 anos de vida.

Soluções de correções de defeitos indicados por GARNETT NETO (32) e tomados como referência neste estudo, são mostrados na tabela 5.9, a seguir apresentada.

Tabela 5.9 - Tipo de defeito envolvidos e materiais adotados

Tipo de defeito	Serviços envolvidos em placas (ano de intervenção e No. de placas afetadas segundo tabela 5.8	Materiais adotados
Placas divididas severidade alta	Demolição e reconstrução total	Concreto com cimento ARI e ades. base epóxi
Placas divididas severidade baixa	Demolição e reconstrução parcial	Concreto com cimento mod. c/polímero e ades. base epóxi
Fissuras lineares Severidade alta	Demolição e reconstrução parcial	Concreto com cimento ARI e ades. base epóxi
Fissuras lineares Sev. médio/baixo	Selagem de Fissuras	Mastique elastomérico de poliuretano
Esborcinamento de juntas	Escarificação de superfície, Recomposição e resselagem	Resina sintet. orgânica à base de epóxi
Quebras canto	Demolição e reconstrução parcial	Micro concr. Fluído à base de c. aluminoso

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO(32).

5.4. Estudos Econômicos da Avaliação

5.4.1. Custos dos cenários envolvidos

Para possibilitar que o custo inicial caracterize o momento em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível, há necessidade de esse custo inicial estar referenciado a um mesmo patamar monetário e temporal via VPL, uma vez que tais pavimentos foram dimensionados para referenciais temporais diferenciados e, conseqüentemente, para níveis de tráfego diferenciados.

A variável independente tempo, com patamar em 10 anos, foi adotada como referencial para o caso de Pavimento Flexível, em função dos cenários de intervenção estabelecidos por PEDRAZZI (21) e apresentados nas tabelas 5.6a e 5.6b. Os cenários de intervenção estabelecidos por GARNETT NETO (32) para o mesmo patamar de 10 anos são apresentados na Tabela 5.8 e tabela 5.9, levando em consideração o dimensionamento inicial de 20 anos, em face de ser este o tempo mínimo adotado no Brasil (7).

5.4.1.1. Intervenção em Pavimento Flexível

As tabelas 5.10a e 5.10b, a seguir, apresentam os custos decorrentes dos cenários adotados.

Tabela 5.10a - Custo de cenário de intervenção, com revestimento em TSD

Ano de intervenção a partir da data zero	PSI	M&R	Custo US\$/m ²
2	3,8	Manutenção	5.54
4	3,0	Manutenção	6.57
8	2,8	Manutenção	6.49
10	2,4	Reforço(CAUQ:5 cm)	7.91

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI(53)

Tabela 5.10b - Custo de cenário de intervenção, com revestimento em CAUQ

Ano de intervenção a partir da data zero	PSI	M&R	Custo US\$/m ²
2	3,8	Manutenção	2.06
4	3,4	Manutenção	4.04
8	2,8	Manutenção	7.22
10	2,3	Reforço(CAUQ:5cm)	7.91

NOTA: Adaptado de PAIVA e PEDRAZZI(53)

5.4.1.2. Intervenção em Pavimento Rígido

As tabelas 5.11 e 5.12, a seguir, apresentam os custos decorrentes dos cenários adotados.

Tabela 5.11 - Tipo de defeito versus custo no ano da intervenção

Tipo de defeito	Custo função do tipo de defeito no ano da intervenção , custo total/ano e custo/m ² (US\$)									
	12	44	16	18	20	22	24	26	28	30
Placas divididas – A	2230	2453	2765	3032	3389	3790	4192	4638	5128	5708
Placas divididas – B	9315	10247	12296	13973	15836	18071	18072	22915	25710	25.896
J.esborcinada	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2232	2232	2232	2042
Quebras canto	64	64	64	64	64	66	66	66	68	68
Fissuras lineares – A	920	924	941	958	978	999	1020	1049	1074	1066
Fissuras lineares-M/B	2613	2613	2613	2613	2613	2613	2613	2613	2613	2560
TOTAL/US\$	17342	18501	20879	22840	25080	27739	28195	35513	36825	37340
US\$/m ²	28.52	28.86	29.54	30.13	30.84	31.68	32.52	33.48	34.50	34.38

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO(32). Área considerada (1440m²) equivalente a 111 placas com 3,6x3,6mx0,18m (2,3328m³/placa). Dólar referenciado a DEZ/05.

Tabela 5.12 - Tipo de defeito versus custo de serviços envolvidos e materiais adotados

Tipo de defeito	Serviços envolvidos em placas (ano de intervenção e No. de placas afetadas segundo tabela 5.8)	Materiais adotados	Custo placa (US\$)
Placas divididas severidade alta	Demolição e reconstrução total	Concreto com cimento ARI e ades. base epóxi	445.91
Placas divididas severidade baixa	Demolição e reconstrução parcial	Concreto com cimento mod. c/polímero e ades. base epóxi	1863.10
Fissuras lineares Severidade alta	Demolição e reconstrução parcial	Concreto com cimento ARI e ades. base epóxi	41.80
Fissuras lineares Sev. médio/baixo	Selagem de Fissuras	Mastique elastomérico de poliuretano	52.25
Esborcinamento de juntas	Escarificação de superfície, Recomposição e resselagem	Resina sintet. orgânica à base de epóxi	314.30
Quebras canto	Demolição e reconstrução parcial	Micro concr. Fluído à base de c. aluminoso	21.30

NOTA: Adaptado de GARNETT NETO(32).

5.4.2 Custo de Pavimento Flexível para 10 anos de vida útil

O valor do custo/m² na data zero passa então a ser, para o caso do Pavimento Flexível, o valor de seu dimensionamento inicial incorporado do custo/m² das intervenções no período de 10 anos expresso nas tabelas 5.10a e 5.10b, obtendo-se assim o custo/m² inicial apresentado nas tabelas 5.13a a 5.13c, a seguir.

As tabelas, portando, indicam o custo/m² (US\$) do Pavimento para cada nível de tráfego, Taxa de Amortização (Ta) e capacidade de suporte do subleito, incluindo o custo médio/m² (US\$), para cada caso, citado.

Tabela 5.13a - Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil, Ta: 5%

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG US\$/m ²	TSD+SC US\$/m ²	TSD+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	35.34	34.03	33.90	34.42
5	34.86	33.54	33.42	33.94
6	34.79	33.46	33.35	33.87
9	34.60	33.27	33.15	33.67
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG US\$/m ²	CAUQ/50mm+SC US\$/m ²	CAUQ/50mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	32.68	31.86	31.96	32.17
5	31.93	31.28	31.37	31.53
6	31.83	31.19	31.28	31.43
9	31.60	30.79	31.06	31.15
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG US\$/m ²	CAUQ75mm+SC US\$/m ²	CAUQ75mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	35.67	35.08	35.34	35.36
5	34.99	33.86	33.95	34.24
6	34.89	33.76	33.83	34.16
9	34.63	33.68	33.77	34.03
Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG US\$/m ²	CAUQ100mm+SC US\$/m ²	CAUQ100mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	38.37	38.24	38.33	38.31
5	37,70	37,50	37.59	37.60
6	37.40	37.21	37.30	37.30
9	37.12	36.93	37.02	37.02
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG US\$/m ²	CAUQ125mm+SC US\$/m ²	CAUQ125mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	40.82	40.63	40.73	40.73
5	40.04	39.88	39.97	39.96
6	39.60	39.59	39.85	39.68
9	39.47	39.28	39.55	39.43

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Tabela 5.13b - Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil, Ta: 10%

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG US\$/m ²	TSD+SC US\$/m ²	TSD+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	30.80	29,49	29,36	29.88
5	30.32	29.00	28.88	29.40
6	30.25	28.92	28.81	29.33
9	30.06	28.73	28.61	29.13
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG US\$/m ²	CAUQ/50mm+SC US\$/m ²	CAUQ/50mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	28.62	27.80	27.90	28.11
5	27.87	27.22	27.31	24.47
6	27,77	27.13	27.22	27.37
9	27,54	26.73	27.00	27.09
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG US\$/m ²	CAUQ75mm+SC US\$/m ²	CAUQ75mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	31.61	31.02	31.28	31.30
5	30.93	29.80	29.89	30.21
6	30.83	29.70	29.77	30.10
9	30.57	29.62	29.71	29.97
Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG US\$/m ²	CAUQ100mm+SC US\$/m ²	CAUQ100mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	34.31	34.18	34.27	34.25
5	33.64	33.44	33.53	33.54
6	33.34	33.15	33.24	33.24
9	33.06	32.87	32.96	32.96
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG US\$/m ²	CAUQ125mm+SC US\$/m ²	CAUQ125mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	36.76	36.57	36.67	36.67
5	35.98	35.82	35.91	35.90
6	35.54	35.53	35.79	35.62
9	35.41	35.22	35.49	35.37

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Tabela 5.13c - Custo inicial do Pavimento Flexível, 10 anos de Vida útil, Ta: 15%

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG US\$/m ²	TSD+SC US\$/m ²	TSD+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	27.68	26.37	26.24	26.76
5	27.20	25.88	25.76	26.28
6	27.13	25.80	25.69	26.21
9	26.94	25.61	25.49	26.01
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG US\$/m ²	CAUQ/50mm+SC US\$/m ²	CAUQ/50mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	25.92	25.10	25.20	25.41
5	25.17	24.52	24.61	24.77
6	25.07	24.43	24.52	24.67
9	24.84	24.03	24.30	24.39
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG US\$/m ²	CAUQ/75mm+SC US\$/m ²	CAUQ/75mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	28.91	28.32	28.58	28.60
5	28.23	27.10	27.19	27.51
6	28.13	27.00	27.07	27.40
9	27.87	26.92	27.01	27.27
Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG US\$/m ²	CAUQ100mm+SC US\$/m ²	CAUQ100mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	31.61	31.48	31.57	31.55
5	30.94	30.74	30.83	30.84
6	30.64	30.45	30.54	30.54
9	30.36	30.17	30.26	30.26
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG US\$/m ²	CAUQ125mm+SC US\$/m ²	CAUQ125mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	34.06	33.87	33.97	33.97
5	33.28	33.12	33.21	33.20
6	32.84	32.83	33.09	33.92
9	32.71	32.52	32.79	32.67

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

5.4.3. Custo de Pavimento Rígido para 10 anos de vida útil

Na obtenção do custo/m² inicial do Pavimento Rígido, apresentado nas Tabelas 5.14a a 5.14c, a seguir, o valor na data zero é o valor obtido no dimensionamento inicial de 20 anos, transportado para o mesmo patamar monetário e temporal de 10 anos, através do VPL, e incorporando-se a esse valor a intervenção mínima de resselagem no final do 10º ano de uso.

Tabela 5.14a - Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de Vida útil, Ta=5%

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			9,0		23.594	
			9,5		11.794	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	37.88	50	35.33	65	35.33	36.18
38	35.90	90	33.85	111	33.85	34.53
42	35.40	98	33.85	120	33.85	34.37
52	34.90	115	33.35	140	33.35	33.87
Nf=10 ⁶ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			10,0		120.917	
			11,0		58.984	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	39.38	50	36.83	65	36.83	37.68
38	37.39	90	35.34	111	35.34	36.06
42	36.89	98	35.34	120	35.34	35.86
52	36.39	115	34.84	140	34.84	35.36
Nf=10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			12,0		395.193	
			14,0		197.596	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	42.36	50	39.32	65	39.32	40.33
38	39.87	90	37.82	111	37.33	38.34
42	39.38	98	37.33	120	37.33	38.01
52	38.88	115	36.83	140	36.83	37.51

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		13,0		
				15,0		
		ETD		10,0		
				639.634		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	43.35	50	40.31	65	39.82	41.16
38	40.87	90	38.32	111	38.32	39.17
42	40.37	98	38.32	120	37.82	38.84
52	39.87	115	37.82	140	37.33	38.34
Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		14,0		
				15,0		
		ETD		13,0		
				14,0		
				345.056		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	43.35	50	40.31	65	39.82	41.16
38	40.87	90	38.32	111	38.32	39.34
42	40.37	98	38.32	120	37.82	38.84
52	39.87	115	37.82	140	37.33	38.34

NOTA: Continuação da tabela 5.14a ,

Tabela 5.14b - Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de Vida útil, Ta=10%

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		9,0		
				9,5		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	23.79	50	22.19	65	22.19	22.72
38	22.54	90	21.26	111	21.26	21.69
42	22.23	98	21.26	120	21.26	21.58
52	21.92	115	20.94	140	20.94	21.27
Nf=10 ⁶ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		10,0		
				11,0		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	24.73	50	23.13	65	23.13	23.66
38	23.48	90	22.19	111	22.19	22.62
42	23.17	98	22.19	120	22.19	22.52
52	22.86	115	21.88	140	21.88	22.21

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=107, equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD				12,0	395.193	
				14,0	197.596	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	26.60	50	24.69	65	24.70	25.33
38	25.04	90	23.75	111	23.44	24.08
42	24.73	98	23.44	120	23.44	23.87
52	24.42	115	23.13	140	23.13	23.56
Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD				13,0	852.319	
				15,0	427.634	
ETD				10,0	639.634	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	27.23	50	25.31	65	25.01	25.85
38	25.67	90	24.07	111	24.07	24.60
42	25.35	98	24.07	120	23.75	24.39
52	25.04	115	23.75	140	23.44	24.08
Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD				14,0	1.377.276	
				15,0	690.113	
ETD				13,0	687.164	
				14,0	345.056	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	27.23	50	25.31	65	25.01	25.85
38	25.67	90	24.07	111	24.07	24.60
42	25.35	98	24.07	120	23.75	24.39
52	25.04	115	23.75	140	23.44	24.08

NOTA: Continuação da tabela 5.14b ,

Tabela 5.14c - Custo inicial do Pavimento Rígido, 10 anos de Vida útil, Ta=15%

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD				9,0	23.594	
				9,5	11.794	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	15.25	50	14.23	65	14.23	14.57
38	14.45	90	13.63	111	13.63	13.90
42	14.25	98	13.63	120	13.63	13.84
52	14.05	115	13.43	140	13.43	13.64

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=106, equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			10,0		120.917	
			11,0		58.984	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	15.85	50	14.83	65	14.83	15.17
38	15.05	90	14.23	111	14.23	14.50
42	14.85	98	14.23	120	14.23	14.44
52	14.65	115	14.03	140	14.03	14.24
Nf=10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			12,0		395.193	
			14,0		197.596	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	17.06	50	15.83	65	15.83	16.24
38	16.05	90	15.23	111	15.03	15.44
42	15.85	98	15.03	120	15.03	15.30
52	15.65	115	14.83	140	14.83	15.10
Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			13,0		852.319	
			15,0		427.634	
ETD			10,0		639.634	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	17.46	50	16.23	65	16.03	16.57
38	16.46	90	15.43	111	15.43	15.77
42	16.25	98	15.43	120	15.23	15.64
52	16.05	115	15.23	140	15.03	15.44
Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			14,0		1.377.276	
			15,0		690.113	
ETD			13,0		687.164	
			14,0		345.056	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	17.46	50	16.23	65	16.03	16.57
38	16.46	90	15.43	111	15.43	15.77
42	16.25	98	15.43	120	15.23	15.64
52	16.05	115	15.23-	140	15.03	15.44

NOTA: Continuação da tabela 5.14c .

5.4.4. Custo de Pavimentos para 40 anos de vida útil

Uma vez estando os custos dos pavimentos relacionados a um mesmo patamar monetário e temporal através do VPL, são feitas as análises de custo de vida útil para o período de 40 anos, considerando a figura 5.2 apresentada anteriormente.

5.4.4.1. Pavimento Flexível

O VPL como variável dependente e elemento decisor no conceito de análise de Custo de Ciclo de Vida de Pavimentos é apresentado a seguir, nas Tabelas 5.15a a 5.15c, considerando Ta de 5%, 10% e 15%, admitindo-se base de BGS, SC e CR sobre sub-base de solo estabilizado granulometricamente implantado em solos com CBR de 2%, 5%, 6% e 9%, tráfego estimado em $N_f = 10^5$, 10^6 , 10^7 , 5×10^7 e 10^8 , em diversos cenários para ciclo de vida em 40 anos.

Tabela 5.15a – VPL(Ta=5%) do Pavimento Flexível, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG US\$/m ² Acumulado	TSD+SC US\$/m ² Acumulado	TSD+CR US\$/m ² Acumulado	Custo Médio US\$/m ² Acumulado
2	79.09	77.76	77.63	78.15
5	78.79	77.27	77.15	77.67
6	78.52	77.19	77.08	77.60
9	78.33	77.00	76.88	77.40
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG US\$/m ²	CAUQ/50mm+SC US\$/m ²	CAUQ/50mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	65.86	65.04	65.14	65.35
5	65.11	64.46	64.55	64.71
6	65.01	64.37	64.46	64.61
9	64.78	63.97	64.24	64.33
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG US\$/m ²	CAUQ/75mm+SC US\$/m ²	CAUQ/75mm+CR US\$/m ²	Custo Médio US\$/m ²
2	68.85	68.26	68.52	68.54
5	68.17	67.04	67.13	67.45
6	68.07	66.94	67.01	67.34
9	67.81	66.86	66.95	67.21

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG	CAUQ100mm+SC	CAUQ100mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	71.55	71.42	71.51	71.49
5	70.88	70.68	70.77	70.78
6	70.58	70.39	70.48	70.48
9	70.30	70.11	70.20	70.20
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG	CAUQ125mm+SC	CAUQ125mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	74.00	73.81	73.91	73.91
5	73.22	73.06	73.15	73.14
6	72.78	72.77	73.03	72.92
9	72.65	72.46	72.73	72.61

NOTA: Continuação da tabela 5.15a.

Tabela 5.15b – VPL(Ta=10%) do Pavimento Flexível, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG	TSD+SC	TSD+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
	Acumulado	Acumulado	acumulado	Acumulado
2	54.90	53.59	53.46	53.98
5	54.42	53.10	52.90	53.47
6	54.35	53.02	52.91	53.43
9	54.16	52.83	52.83	53.27
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG	CAUQ/50mm+SC	CAUQ/50mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	45.93	45.11	45.21	45.42
5	45.18	44.53	44.62	44.78
6	45.08	44.44	44.53	44.68
9	44.85	44.04	44.31	45.73
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG	CAUQ75mm+SC	CAUQ75mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	48.92	48.33	48.59	48.71
5	48.24	47.11	47.20	47.52
6	48.14	47.01	47.08	47.21
9	47.88	46.93	47.02	47.28

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG	CAUQ100mm+SC	CAUQ100mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	51.62	51.49	51.58	51.56
5	50.95	50.75	50,84	50.85
6	50.65	50.46	50.55	50.55
9	50.37	50.18	50.27	50.27
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG	CAUQ125mm+SC	CAUQ125mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	54.07	53.88	53.98	53.88
5	53.29	53.13	53.22	53.21
6	52.85	52.84	53.10	52.99
9	52.72	52.53	52.88	52.71

NOTA: Continuação da tabela 5.15b.

Tabela 5.15c – VPL(Ta=15%) do Pavimento Flexível, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	TSD+BG	TSD+SC	TSD+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
	acumulado	Acumulado	Acumulado	Acumulado
2	43.59	42.28	42.15	42.67
5	43.11	41.79	41.67	41.19
6	43.04	41.71	41.60	42.12
9	42.85	41.52	41.40	41.92
Nf=10 ⁶ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/50mm+BG	CAUQ/50mm+SC	CAUQ/50mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	36.75	35.93	36.03	36.24
5	36.00	35.35	35.44	35.60
6	35.90	35.26	35.35	35.50
9	35.67	34.86	35.13	35.22
Nf=10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ/75mm+BG	CAUQ75mm+SC	CAUQ75mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	39.74	39.15	39.41	39.43
5	39.06	37.93	38.02	38.34
6	38.96	37.83	37.90	38.23
9	38.70	37.75	37.84	38.10

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=5x10 ⁷ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ100mm+BG	CAUQ100mm+SC	CAUQ100mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	42.44	42.31	42.40	42.38
5	41.77	41.57	41.66	41.67
6	41.47	41.28	41.37	41.37
9	41.19	41.00	41.09	41.09
Nf=10 ⁸ , Ref. Carga Equivalente ao Eixo Simples Padrão de 8,2t(18.000 lbs)				
CBR(%)	CAUQ125mm+BG	CAUQ125mm+SC	CAUQ125mm+CR	Custo Médio
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²
2	44.89	44.70	44.80	44.80
5	44.11	43.95	44.04	44.03
6	43.67	43.66	43.92	43.81
9	43.54	43.35	43.62	43.50

NOTA: Continuação da tabela 5.15c.

5.4.4.2. Pavimento Rígido

O VPL como variável dependente e elemento decisor no conceito de análise de Custo de Ciclo de Vida de Pavimentos é apresentado a seguir, nas tabelas 5.16a a 5.16c, considerando Ta de 5%, 10% e 15%, admitindo-se sub-base de BGS, SC e CR, solo local sem reforço de subleito, nas mesmas condições de CBR de 2%, 5%, 6% e 9%, e tráfego compatível a Nfc = Nf = 10⁵, 10⁶, 10⁷ 5 x 10⁷ e 10⁸, em diversos cenários, para ciclo de vida em 40 anos.

Tabela 5.16a - VPL(Ta=5%) do Pavimento Rígido, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		9,0		23.594		
		9,5		11.794		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	197.55	50	194.99	65	194.99	195.84
38	195.56	90	193.51	111	193.51	194.19
42	195.06	98	193.51	120	193.51	194.03
52	194.56	115	193.01	140	193.01	193.53

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=10 ⁶ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		10,0		120.917		
		11,0		58.984		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	199.04	50	196.49	65	196.49	197.34
38	197.05	90	195.00	111	195.00	195.68
42	196.55	98	195.00	120	195.00	195.52
52	196.05	115	194.50	140	194.50	195.02
Nf=10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		12,0		395.193		
		14,0		197.596		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	202.02	50	198.38	65	198.99	200,00
38	199.54	90	197.48	111	196.99	198.00
42	199.04	98	196.99	120	196.99	197,67
52	198.54	115	196.49	140	196.49	197,17
Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		13,0		852.319		
		15,0		427.634		
		ETD		639.634		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	203.02	50	199.97	65	199.49	200.83
38	200.53	90	197.98	111	197.98	198.83
42	200.03	98	197.98	120	197.48	198.50
52	199.54	115	197.48	140	196.99	198.00
Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		14,0		1.377.276		
		15,0		690.113		
		ETD		687.164		
		14,0		345.056		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	203.02	50	199.97	65	199.49	200.83
38	200.53	90	197.98	111	197.98	198.83
42	200.03	98	197.98	120	197.48	198.50
52	199.54	115	197.48	140	196.99	198.00

NOTA: Continuação da tabela 5.16a.

Tabela 5.16b - VPL(Ta=10%) do Pavimento Rígido, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			9,0		23.594	
			9,5		11.794	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	80.62	50	79.02	65	79.02	79.55
38	79.37	90	78.08	111	78.08	78.51
42	79.06	98	78.08	120	78.08	78.41
52	78.75	115	77.77	140	77.77	78.10
Nf=10 ⁶ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			10,0		120.917	
			11,0		58.984	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	81.56	50	79.96	65	79.96	80.49
38	80.31	90	79.02	111	79.02	79.45
42	79.99	98	79.02	120	79.02	79.34
52	79.68	115	78.71	140	78.71	79.03
Nf=10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			12,0		395.193	
			14,0		197.596	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	83.43	50	81.52	65	81.53	82.15
38	81.87	90	80.58	111	80.27	81.01
42	81.56	98	80.27	120	80.27	80.70
52	81.24	115	79.96	140	79.96	80.39
Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD			13,0		852.319	
			15,0		427.634	
ETD			10,0		639.634	
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	84.05	50	82.14	65	81.84	82.68
38	82.49	90	80.89	111	80.89	81.41
42	82.18	98	80.89	120	80.58	81.22
52	81.87	115	80.58	140	80.27	80.91

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		14,0		
				15,0		
		ETD		13,0		
				14,0		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	84.05	50	82.14	65	81.84	82.68
38	82.49	90	80.89	111	80.89	81.41
42	82.18	98	80.89	120	80.58	81.22
52	81.87	115	80.58	140	80.27	80.91

NOTA: Continuação da tabela 5.16b.

Tabela 5.16c - VPL(Ta=15%) do Pavimento Rígido, 40 anos de Vida útil

Nf=10 ⁵ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		9,0		
				9,5		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	39.12	50	38.09	65	38.09	38.43
38	38.32	90	37.49	111	37.49	37.77
42	38.12	98	37.49	120	37.49	37.70
52	37.91	115	37.29	140	37.29	37.50
Nf=10 ⁶ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		10,0		
				11,0		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	39.72	50	38.69	65	38.69	39.09
38	38.92	90	38.09	111	38.09	38.87
42	38.72	98	38.09	120	38.09	38.30
52	38.52	115	37.89	140	37.89	38.10
Nf=10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
		ESRD		12,0		
				14,0		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
Mpa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	40.92	50	39.69	65	39.70	40.10
38	39.32	90	39.09	111	38.89	39.10
42	39.72	98	38.89	120	38.89	39.17
52	39.52	115	38.69	140	38.69	38.97

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Nf=5x10 ⁷ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		13,0		852.319		
		15,0		427.634		
ETD		10,0		639.634		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
Mpa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	41.32	50	40.09	65	39.90	40.44
38	40.32	90	39.29	111	39.29	39.63
42	40.12	98	39.29	120	39.09	39.50
52	39.92	115	39.09	140	38.89	39.30
Nf=10 ⁸ , equivalente à: CLASSE CARGA/EIXO(tf) No. DE SOLICITAÇÕES						
ESRD		14,0		1.377.276		
		15,0		690.113		
ETD		13,0		687.164		
		14,0		345.056		
K	PLACA+BG	K	PLACA+SC	K	PLACA+CR	Custo Médio
Mpa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	MPa/m	US\$/m ²	US\$/m ²
19	41.32	50	40.09	65	39.90	40.44
38	40.32	90	39.29	111	39.29	39.63
42	40.12	98	39.29	120	39.09	39.50
52	39.92	115	39.09	140	38.89	39.30

NOTA: Continuação da tabela 5.16c.

5.4.5. Equações de custo do Pavimento

As equações do VPL de custo do pavimento em função da Ta constantes da avaliação proposta, apresentadas a seguir, foram estabelecidas partindo-se do custo inicial definido nos itens 5.4.2, 5.4.3 e 5.4.4. e caracterizam o momento em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível. Estão referenciadas ao custo inicial de um mesmo patamar monetário e temporal, uma vez que tais pavimentos foram dimensionados para referenciais temporais diferenciados e, conseqüentemente, para níveis de tráfego diferenciados.

Portanto, para ciclos de 10 anos, são apresentadas a seguir, as Tabelas 5.17a a 5.17e, referentes aos cenários de intervenção em Pavimento Flexível estabelecidos por PEDRAZZI (21) e PAIVA e PEDRAZZI (53).

Esse mesmo patamar de referência de 10 anos foi adotado nas tabelas 5.18a a 5.18e, a seguir, referentes aos cenários de intervenção estabelecidos por GARNETT NETO (32), observando-se que, para o caso de Pavimento Rígido, o dimensionado inicial é para 20 anos, em face de ser este o tempo mínimo adotado no Brasil (7).

Para ciclos de 40 anos, são apresentados posteriormente, as Tabelas 5.19a a 5.19e para o caso de Pavimentos Flexíveis, e as Tabelas 5.20a a 5.20e, para Pavimentos Rígidos.

As equações de custo dos pavimentos estão relacionadas às Taxas de Amortização (T_a) variando em 5%, 10% e 15% , visando estabelecer valores de confiança extremos para o VPL.

Segundo KAAN *et al.* (2), o valor da variável dependente VPL é sensível à T_a em uma análise de custo de ciclo de vida de pavimentos (LCCA). Portanto, 3(três) pontos extremos são suficientes para indicar a tendência da variação da taxa de amortização com o Custo/m² do pavimento.

Dessa forma, para cada tipo de base e capacidade de suporte de subleito ter-se-á uma equação de custo/m² em função da Taxa de Amortização (T_a) que se pretenda adotar dentro do ciclo de vida considerado, ou seja, nos casos em questão, ciclos de 10 anos e ciclos de 40 anos.

Ressalta-se, entretanto, que tais equações são válidas para as condições de contorno adotadas em termos de método de dimensionamento da estrutura inicial do pavimento, nível de tráfego, capacidade de suporte de subleito, tipo de base, e modelo de previsão de intervenção com o respectivo ciclo de vida do pavimento.

5.4.5.1. Equações de Pavimento Flexível para 10 anos de vida útil

Tabela 5.17a– Equações do VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, com revestimento em TSD, ao longo de 10 anos, $N_f=10^5$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização	R^2
Brita Graduada (BGS)	2	$\text{Custo/m}^2(\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 38.933$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 38.453$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 38.383$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 38.193$	0,99
Solo Cimento (SC)	2	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 37.623$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 37.133$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 37.053$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 36.863$	0,99
Concreto Rolado (CR)	2	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 37.493$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 37.013$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 36.943$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 (\text{US\$}) = -0.766(\text{Ta}) + 36.743$	0,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

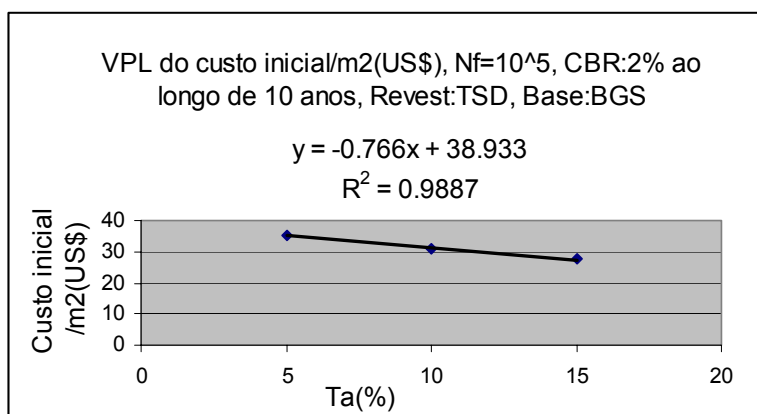


Figura 5.4a – VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=10^5$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento: TSD, Base: BGS.

Tabela 5.17b– Equações do VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos com revestimento em CAUQ, $N_f=10^6$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 35.833	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 35.083	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.973	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.753	0,99
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 35.013	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.433	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.343	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 33.943	0,99
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 35.113	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.523	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.433	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = -0.676(Ta) + 34.213	0,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

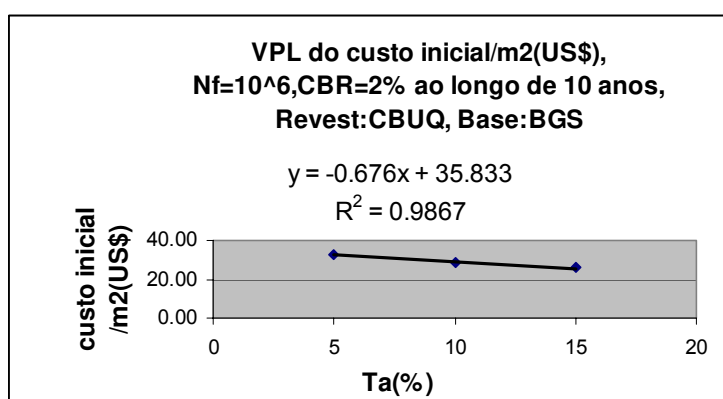


Figura 5.4b – VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=10^6$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento: CAUQ, Base: BGS.

Tabela 5.17c– Equações do VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, com revestimento em CAUQ, $N_f=10^7$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização	R^2
Brita Graduada (BGS)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 38.823$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 38.143$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 38.043$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 37.783$	0,99
Solo Cimento (SC)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 38.233$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 37.013$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 36.913$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 36.833$	0,99
Concreto Rolado (CR)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 38.493$	0,99
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 37.103$	0,99
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 36.983$	0,99
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -0.676(Ta) + 36.923$	0,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

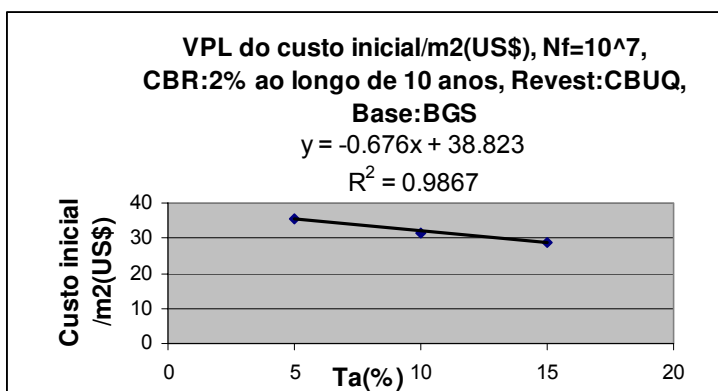


Figura 5.4c – VPL do Custo inicial / m^2 versus $Ta(\%)$, $N_f=10^7$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento: CAUQ, Base: BGS.

Tabela 5.17d– Equações do VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, com revestimento em CAUQ, $N_f=5 \times 10^7$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 41.523	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.853	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.553	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.273	0,99
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 41.393	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.653	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40,363	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.083	0,99
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 41.483	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.743	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.453	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 40.173	0,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

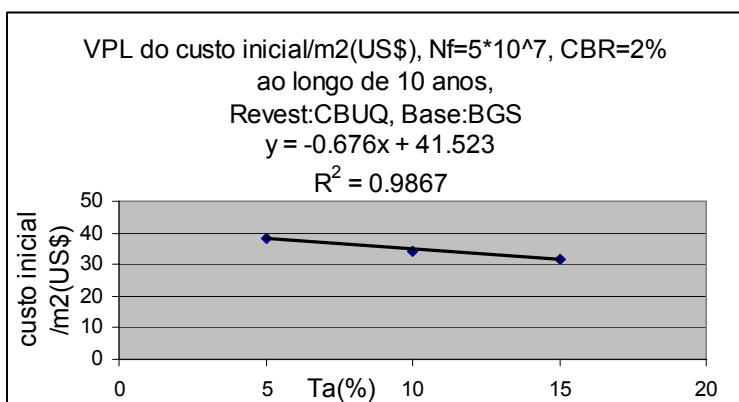


Figura 5.4d – VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=5 \times 10^7$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento: CAUQ, Base: BGS.

Tabela 5.17e -Equações do VPL de custo inicial de Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos, com revestimento em CAUQ, $N_f=10^8$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.973	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.193	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 42.753	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 42.623	0,99
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.783	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.033	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 42.743	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 42.433	0,99
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.883	0,99
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.123	0,99
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 43.003	0,99
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 0.676(Ta) + 42.703	0,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

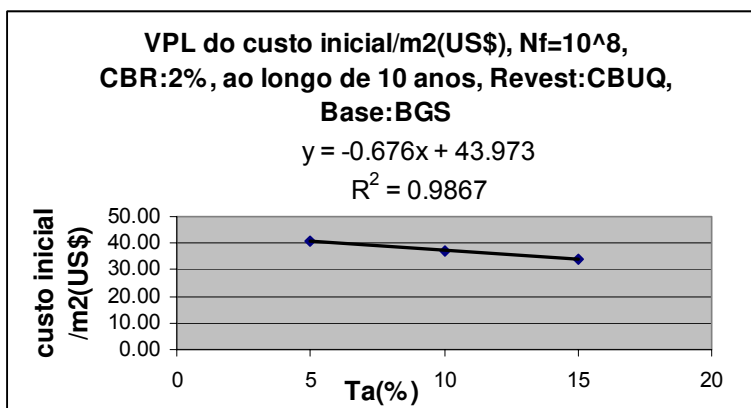


Figura 5.4e – VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=10^8$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revestimento: CAUQ, Base: BGS.

5.4.5.2. Equações de Pavimento Rígido para 10 anos de vida útil

Tabela 5.18a - Equações do VPL de custo inicial para Pavimento Rígido, para carga compatível a N_f , decorrente do processo adotado no Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos ($N_{fc}=10^5$)

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo inicial ,função do tipo de Sub-Base, K e T_a (%), em 10 anos, considerando-o dimensionado para 20 anos	R^2
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.263(T_a) + 48.270	0,98
	38	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.145(T_a) + 45.747	0,98
	42	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.115(T_a) + 45.110	0,98
	52	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.085(T_a) + 44.473	0,98
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.110(T_a) + 45.017	0.98
	90	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.022(T_a) + 43.133	0.98
	98	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.022(T_a) + 43.133	0.98
	115	Custo/ m^2 (US\$) = - 1.992(T_a) + 42.493	0.98
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.110(T_a) + 45.017	0.98
	111	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.022(T_a) + 43.133	0.98
	120	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.022(T_a) + 43.133	0.98
	140	Custo/ m^2 (US\$) = - 1.992(T_a) + 42.493	0.98

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

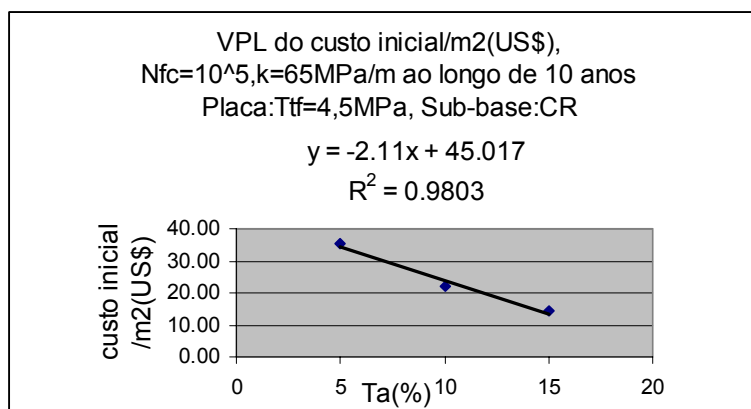


Figura 5.5a – VPL do custo inicial/ m^2 inicial versus T_a (%), $N_{fc}=10^5$, $K=65$ MPa/m, ao longo de 10 anos Placa com $T_{tf}=4,5$ MPa, Sub-base de CR

Tabela 5.18b - Equações do VPL de custo inicial para Pavimento Rígido, para carga compatível a Nf, decorrente do processo adotado no Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos (Nfc=10⁶)

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo inicial ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 10 anos, considerando-o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) =- 2.353 (Ta) + 50.183	0,98
	38	Custo/ m ² (US\$) =- 2.234(Ta) + 47.647	0,98
	42	Custo/ m ² (US\$) =- 2.204(Ta) + 47.010	0,98
	52	Custo/ m ² (US\$) =- 2.174(Ta) + 46.373	0,98
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) =- 2.200(Ta) + 46.930	0.98
	90	Custo/ m ² (US\$) =- 2.111(Ta) + 45.030	0.98
	98	Custo/ m ² (US\$) =- 2.111(Ta) + 45.030	0.98
	115	Custo/ m ² (US\$) =- 2.081(Ta) + 44.393	0.98
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) =- 2.200(Ta) + 46.930	0.98
	111	Custo/ m ² (US\$) =- 2.111(Ta) + 45.030	0.98
	120	Custo/ m ² (US\$) =- 2.111(Ta) + 45.030	0.98
	140	Custo/ m ² (US\$) =- 2.081(Ta) + 44.393	0.98

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

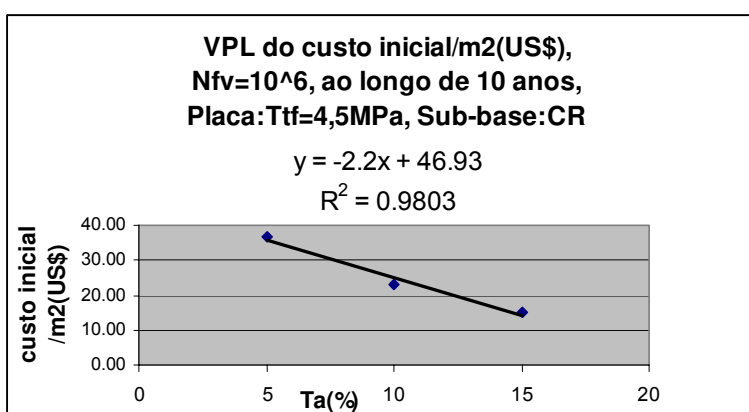


Figura 5.5b – VPL do custo inicial/ m² inicial versus Ta(%), Nfc=10⁶, K=65 MPa/m , Ao longo de 10 anos, Placa com Ttf=4,5 MPa, Sub-base de CR

Tabela 5.18c - Equações do VPL de custo inicial para Pavimento Rígido, para carga compatível a N_f , decorrente do processo adotado no Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos ($N_{fc}=10^7$)

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo inicial ,função do tipo de Sub-Base, K e $T_a(\%)$, em 10 anos, considerando-o dimensionado para 20 anos	R^2
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.530 (T_a) + 53.973	0,98
	38	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.382(T_a) + 50.807	0,98
	42	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.353(T_a) + 50.183	0,98
	52	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.323(T_a) + 49.547	0,98
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.349(T_a) + 50.103	0.98
	90	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.259(T_a) + 48.190	0.98
	98	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.230(T_a) + 47.567	0.98
	115	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.200(T_a) + 46.930	0.98
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.349(T_a) + 50.107	0.98
	111	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.230(T_a) + 47.567	0.98
	120	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.230(T_a) + 47.567	0.98
	140	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.081(T_a) + 44.393	0.98

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

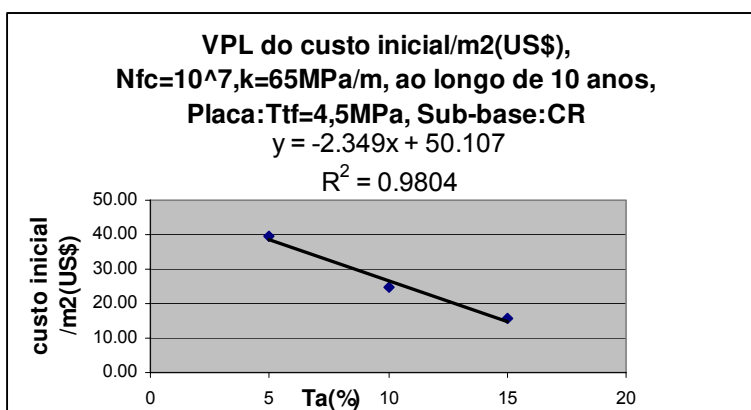


Figura 5.5c – VPL do custo inicial/ m^2 inicial versus $T_a(\%)$, $N_{fc}=10^7$, $K=65$ MPa/m ,ao longo de 10 anos, Placa com $T_{tf}=4,5$ MPa, Sub-base de CR

Tabela 5.18d - Equações do VPL de custo inicial para Pavimento Rígido, para carga compatível a N_f , decorrente do processo adotado no Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos ($N_{fc}=5 \times 10^7$)

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo inicial, função do tipo de Sub-Base, K e $T_a(\%)$, em 10 anos, considerando-o dimensionado para 20 anos	R^2
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.589 (T_a) + 55.237	0,98
	38	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.441 (T_a) + 52.077	0,98
	42	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.412 (T_a) + 51.443	0,98
	52	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.382 (T_a) + 50.807	0,98
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.408 (T_a) + 51.363	0.98
	90	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.289 (T_a) + 48.830	0.98
	98	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.289 (T_a) + 48.830	0.98
	115	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.259 (T_a) + 48.190	0.98
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.379 (T_a) + 50.743	0.98
	111	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.289 (T_a) + 48.830	0.98
	120	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.259 (T_a) + 48.190	0.98
	140	Custo/ m^2 (US\$) = - 2.230 (T_a) + 47.567	0.98

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

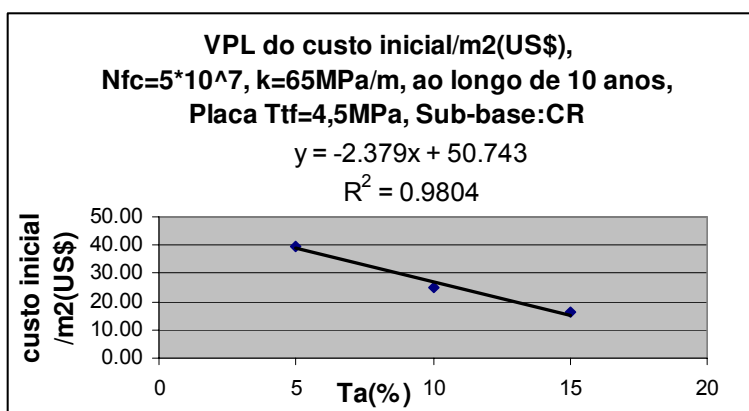


Figura 5.5d – VPL do custo inicial/ m^2 inicial versus $T_a(\%)$, $N_{fc}=5 \times 10^7$, $K=65$ MPa/m, ao longo de 10 anos Placa com $T_{tf}=4,5$ MPa, Sub-base de CR

Tabela 5.18e - Equações do VPL de custo inicial para Pavimento Rígido, para carga compatível a N_f , decorrente do processo adotado no Pavimento Flexível, ao longo de 10 anos ($N_{fc}=10^8$)

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo inicial ,função do tipo de Sub-Base, K e $T_a(\%)$, em 10 anos, considerando-o dimensionado para 20 anos	R^2
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.589 (T_a) + 55.237	0,98
	38	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.441(T_a) + 52.077	0,98
	42	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.412(T_a) + 51.443	0,98
	52	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.382(T_a) + 50.807	0,98
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.408(T_a) + 51.363	0.98
	90	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.289(T_a) + 48.830	0.98
	98	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.289(T_a) + 48.830	0.98
	115	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.259(T_a) + 48.190	0.98
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.379(T_a) + 50.743	0.98
	111	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.289(T_a) + 48.830	0.98
	120	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.259(T_a) + 48.190	0.98
	140	Custo/ m^2 (US\$) =- 2.230(T_a) + 47.567	0.98

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

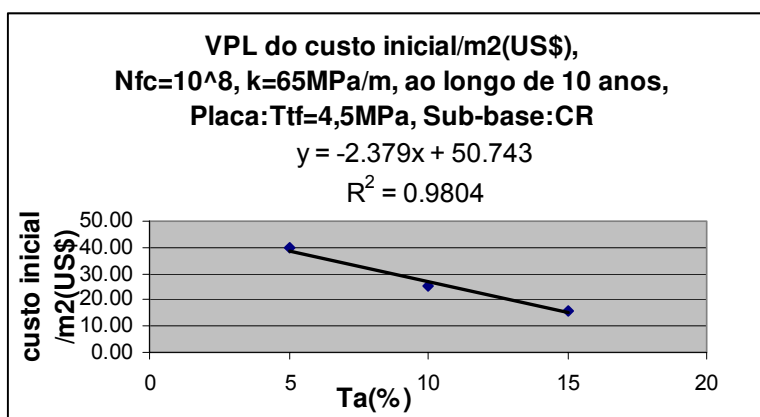


Figura 5.5e – VPL do custo inicial/ m^2 inicial versus $T_a(\%)$, $N_{fc}=10^8$, $K=65$ MPa/m , ao longo de 10 anos, Placa com $T_{tf}=4,5$ MPa, Sub-base de CR

5.4.5.3. Equações de Pavimento Flexível para vida útil de 40 anos

Tabela 5.19a – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para Pavimento Flexível,dimensionado inicialmente com camada de rolamento em TSD, ao longo de 40 anos, para $N_f=10^5$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo total, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização(%)	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 94.667	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 94.187	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 94.117	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 93.927	0,96
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 93.357	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.867	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.787	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.597	0,96
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 93.227	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.720	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.677	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) =- 3.548 (Ta) + 92.517	0,96

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

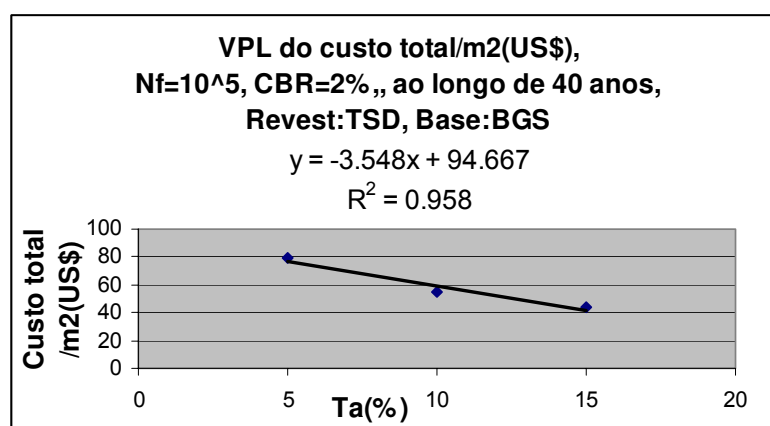


Figura 5.6a - VPL do custo total/m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Flexível. Base de BGS, camada de rolamento em TSD, nível de tráfego $N_f=10^5$

Tabela 5.19b – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em CAUQ, ao longo de 40 anos, para $N_f=10^6$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo total, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização (%)	R^2
Brita Graduada (BGS)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 78.623$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.873$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.773$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 78.977$	0,99
Solo Cimento (SC)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.803$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.223$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.133$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 76.733$	0,96
Concreto Rolado (CR)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.903$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.313$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.223$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 77.003$	0,96

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

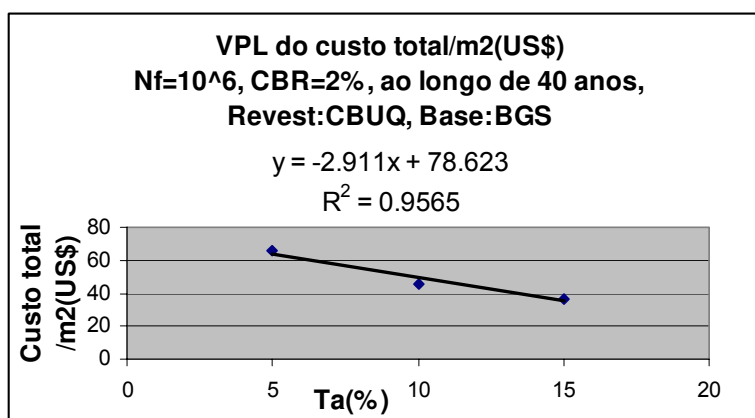


Figura 5.6b- VPL do custo total/m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, versus $Ta(\%)$, Pavimento Flexível. Base de BGS, camada de rolamento em CAUQ, CBR=2%, $N_f= 10^6$

Tabela 5.19c – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em CAUQ, ao longo de 40 anos, para $N_f=10^7$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo total, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização (%)	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 81.613	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 80.933	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 80.833	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 80.573	0,96
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 81.023	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.803	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.703	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.623	0,96
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 81.283	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.893	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.773	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.9211 (Ta) + 79.713	0,96

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

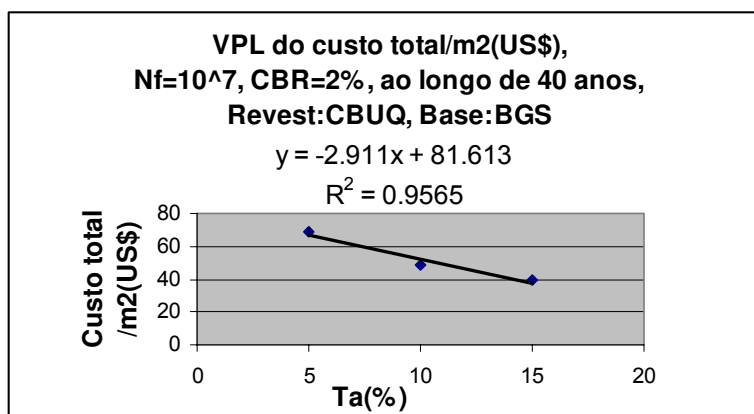


Figura 5.6c - VPL do custo total/m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível. Base de BGS, camada de rolamento em CAUQ, CBR=2%, $N_f= 10^7$

Tabela 5.19d – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em CAUQ, ao longo de 40 anos, para $N_f=5 \times 10^7$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo total, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização (%)	R ²
Brita Graduada (BGS)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 84.311	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 84.643	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.343	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.063	0,96
Solo Cimento (SC)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 84.183	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.443	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.153	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 82.873	0,96
Concreto Rolado (CR)	2	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 84.273	0,96
	5	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.533	0,96
	6	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 83.243	0,96
	9	Custo/ m ² (US\$) = - 2.911 (Ta) + 82.963	0,96

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

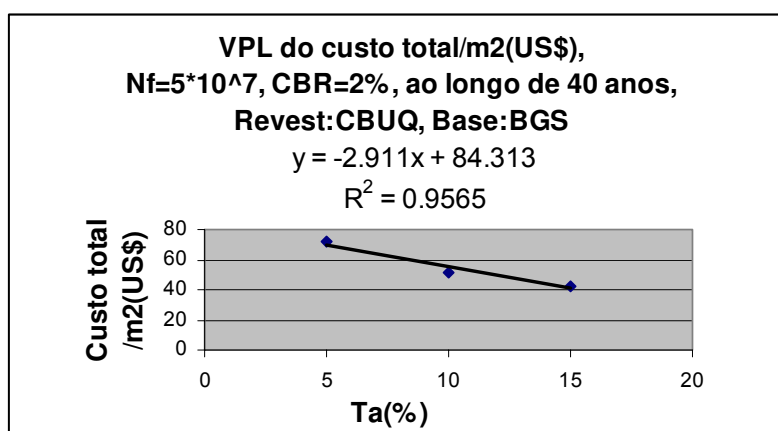


Figura 5.6d - VPL do custo total/m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível. Base de BGS, camada de rolamento em CAUQ CBR=2%, $N_f= 5 \times 10^7$

Tabela 5.19e – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento Flexível, dimensionado inicialmente com camada de rolamento em CAUQ, ao longo de 40 anos, para $N_f=10^8$

Tipo de Base	CBR (%)	Equação do VPL de custo total, função do tipo de Base, CBR e Taxa de amortização (%)	R^2
Brita Graduada (BGS)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 86.763$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.983$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.723$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.413$	0,96
Solo Cimento (SC)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 86.473$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.823$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.533$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.223$	0,96
Concreto Rolado (CR)	2	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 86.673$	0,96
	5	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.913$	0,96
	6	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.793$	0,96
	9	$\text{Custo/ m}^2 \text{ (US\$)} = -2.911 (Ta) + 85.520$	0,96

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

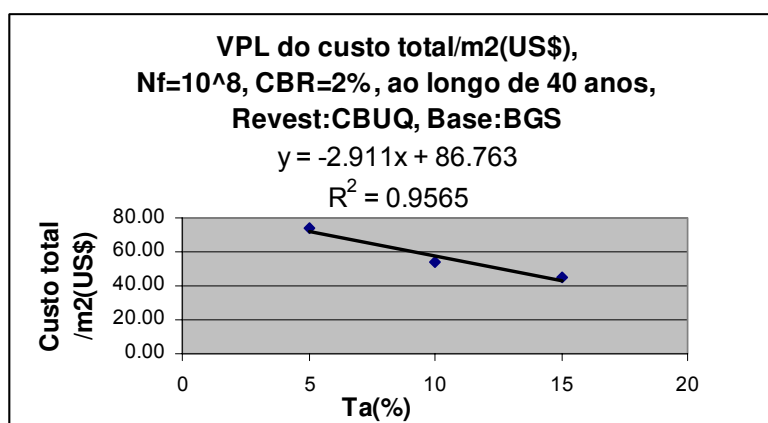


Figura 5.6e - VPL do custo total/m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, versus Ta(%), Pavimento Flexível. Base de BGS, camada de rolamento em CAUQ, CBR=2% $N_f=10^8$

5.4.5.4. Equações de Pavimento Rígido para vida útil de 40 anos

Tabela 5.20a – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para Pavimento rígido, ao longo de 40 asnos, para Nível de Tráfego compatível à $N_{fc}=10^5$

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo total ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 40 anos, considerando o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) =- 15.843 (Ta) + 264.19	0,93
	39	Custo/ m ² (US\$) =- 15.724 (Ta) + 261.66	0,93
	42	Custo/ m ² (US\$) =- 15.843 (Ta) + 264.19	0,93
	52	Custo/ m ² (US\$) =- 15.694 (Ta) + 261.02	0,93
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) =- 15.690 (Ta) + 260.93	0,93
	90	Custo/ m ² (US\$) =- 15,602 (Ta) + 259.05	0,93
	98	Custo/ m ² (US\$) =- 15,602 (Ta) + 259.05	0,93
	115	Custo/ m ² (US\$) =- 15,572 (Ta) + 258.41	0,93
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) =- 15,690 (Ta) + 260.93	0,93
	111	Custo/ m ² (US\$) =- 15,602 (Ta) + 259.05	0,93
	120	Custo/ m ² (US\$) =- 15,602 (Ta) + 259.05	0,93
	140	Custo/ m ² (US\$) =- 15,572 (Ta) + 258.41	0,93

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

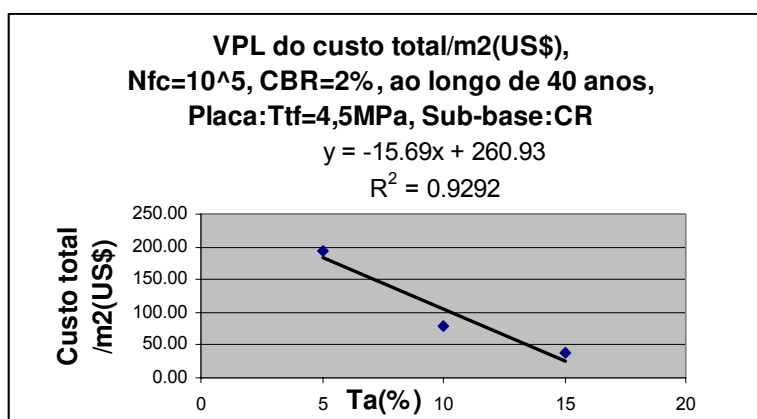


Figura 5.7a - VPL do custo total / m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de CR, K=65MPa/m, nível de tráfego para carga compatível à $N_{fc}=10^5$

Tabela 5.20b – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível à $N_f=10^6$

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo total ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 40 anos, considerando o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) =- 15.932 (Ta) + 266.09	0,93
	39	Custo/ m ² (US\$) =- 15.813 (Ta) + 263.56	0,93
	42	Custo/ m ² (US\$) =- 15.783 (Ta) + 262.92	0,93
	52	Custo/ m ² (US\$) =- 15.753 (Ta) + 262.28	0,93
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) =- 15.780 (Ta) + 262.85	0,93
	90	Custo/ m ² (US\$) =- 15.691 (Ta) + 260.95	0,93
	98	Custo/ m ² (US\$) =- 15.691 (Ta) + 260.95	0,93
	115	Custo/ m ² (US\$) =- 15.661 (Ta) + 260.31	0,93
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) =- 15.780 (Ta) + 262.85	0,93
	111	Custo/ m ² (US\$) =- 15.691 (Ta) + 260.95	0,93
	120	Custo/ m ² (US\$) =- 15.691 (Ta) + 260.95	0,93
	140	Custo/ m ² (US\$) =- 15.661 (Ta) + 260.31	0,93

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

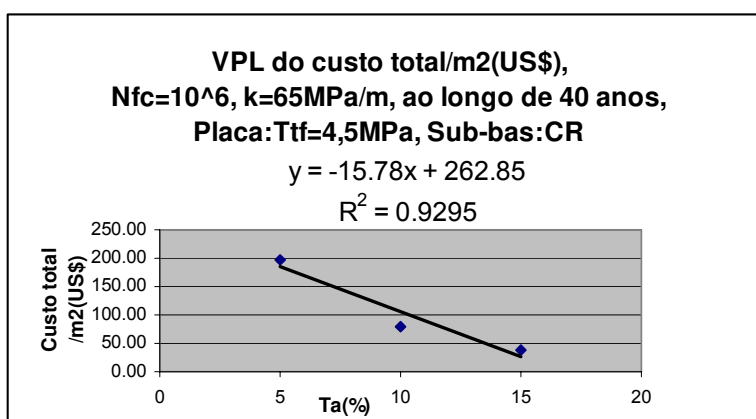


Figura 5.7b - VPL do custo total/ m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de CR, K=65,MPa/m, nível de tráfego para carga compatível à $N_f=10^6$

Tabela 5.20c – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível à $N_f=10^7$

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo total ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 40 anos, considerando o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) =- 16.110 (Ta) + 269.89	0,93
	39	Custo/ m ² (US\$) =- 16.022 (Ta) + 267.13	0,93
	42	Custo/ m ² (US\$) =- 15.932 (Ta) + 266.09	0,93
	52	Custo/ m ² (US\$) =- 15.902 (Ta) + 265.45	0,93
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) =- 15.929 (Ta) + 266.02	0,93
	90	Custo/ m ² (US\$) =- 15.839 (Ta) + 264.11	0,93
	98	Custo/ m ² (US\$) =- 15.810 (Ta) + 263.48	0,93
	115	Custo/ m ² (US\$) =- 15.780 (Ta) + 262.85	0,93
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) =- 15.929 (Ta) + 266.03	0,93
	111	Custo/ m ² (US\$) =- 15.810 (Ta) + 263.59	0,93
	120	Custo/ m ² (US\$) =- 15.810 (Ta) + 263.48	0,93
	140	Custo/ m ² (US\$) =- 15.780 (Ta) + 262.85	0,93

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

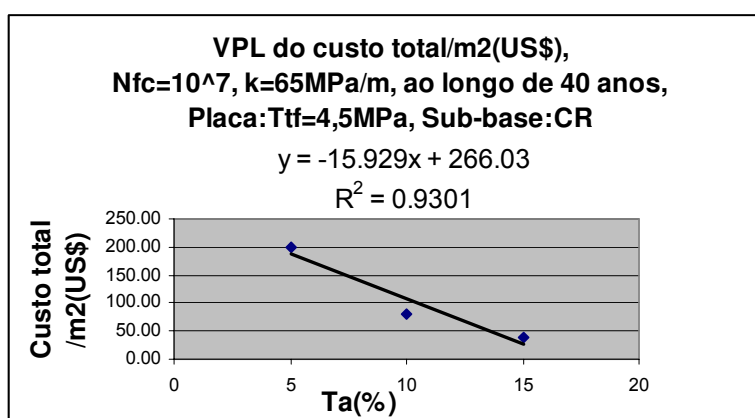


Figura 5.7c - VPL do custo total/ m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de CR, k=65MPa/m, nível de tráfego para carga compatível à $N_f=10^7$

Tabela 5.20d – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível à $N_f=5 \times 10^7$

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo total ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 40 anos, considerando o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) = -16.170 (Ta) + 271.16	0,93
	39	Custo/ m ² (US\$) = -16.021 (Ta) + 267.99	0,93
	42	Custo/ m ² (US\$) = -15.991 (Ta) + 267.35	0,93
	52	Custo/ m ² (US\$) = -15.962 (Ta) + 266.73	0,93
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) = -15.988 (Ta) + 267.28	0,93
	90	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	98	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	115	Custo/ m ² (US\$) = -15.839 (Ta) + 264.11	0,93
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) = -15.959 (Ta) + 266.77	0,93
	111	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	120	Custo/ m ² (US\$) = -15.839 (Ta) + 264.21	0,93
	140	Custo/ m ² (US\$) = -15.810 (Ta) + 263.59	0,93

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

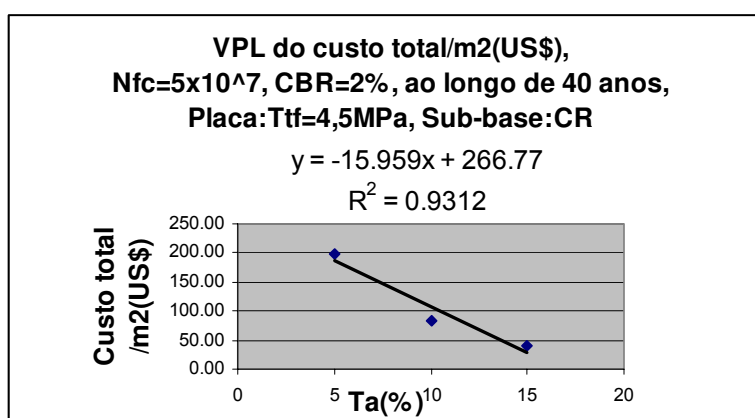


Figura 5.7d - VPL do custo total/ m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Rígido Sub-base de CR, K=65MPa/m, nível de tráfego para carga compatível à $N_f=5 \times 10^7$

Tabela 5.20e – Equação do VPL de custo total (custo inicial+ custo de restauração) para

Pavimento rígido, ao longo de 40 anos, para Nível de Tráfego compatível à $N_f=10^8$

Tipo de Sub-base	K= MPa/m	Equação do VPL de custo total ,função do tipo de Sub-Base, K e Ta(%), em 40 anos, considerando o dimensionado para 20 anos	R ²
Brita Graduada (BGS)	19	Custo/ m ² (US\$) = -16.170 (Ta) + 271.16	0,93
	39	Custo/ m ² (US\$) = -16.021 (Ta) + 267.99	0,93
	42	Custo/ m ² (US\$) = -15.991 (Ta) + 267.35	0,93
	52	Custo/ m ² (US\$) = -15.962 (Ta) + 266.73	0,93
Solo Cimento (SC)	50	Custo/ m ² (US\$) = -15.988 (Ta) + 267.28	0,93
	90	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	98	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	115	Custo/ m ² (US\$) = -15.839 (Ta) + 264.11	0,93
Concreto Rolado (CR)	65	Custo/ m ² (US\$) = -15.959 (Ta) + 266.77	0,93
	111	Custo/ m ² (US\$) = -15.869 (Ta) + 264.74	0,93
	120	Custo/ m ² (US\$) = -15.839 (Ta) + 264.21	0,93
	140	Custo/ m ² (US\$) = -15.810 (Ta) + 263.59	0,93

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

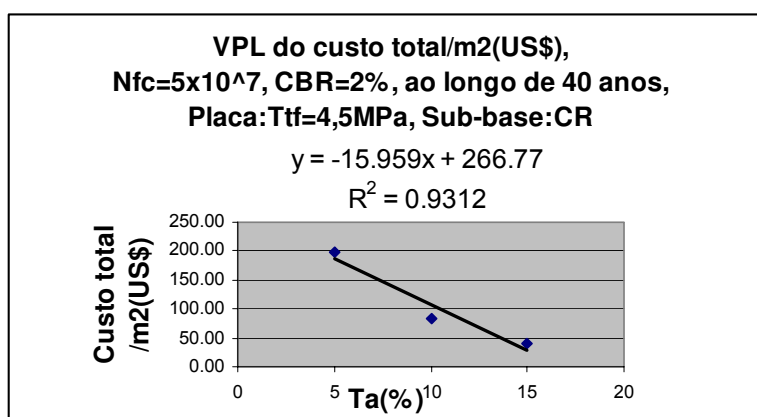


Figura 5.7e - VPL do custo total/ m² (custo inicial+ custo de restauração) ao longo de 40 anos, Versus Ta(%), Pavimento Rígido, Sub-base de Concreto Rolado(CR), K=65MPa/m, Nível de tráfego para carga compatível à $N_f=10^8$

5.4.6. Ponto de equilíbrio entre o Pavimento Flexível e o Pavimento Rígido

As equações desenvolvidas para a avaliação têm para o custo/m² (US\$) de referência do DER-SP, um ponto de equilíbrio no qual, para revestimento em TSD, o custo/kg do cimento considerado é entorno 26% do custo/kg da emulsão asfáltica RR-2C. Para o caso de revestimento de CAUQ, o custo/kg do cimento considerado é entorno de 21% do custo/kg do CAP 20.

O ponto de equilíbrio, entretanto, pode ser alterado, na medida em que se reduza o custo do cimento em relação ao custo do asfalto CAP 20, ou se aumente a diferença de custo entre o cimento e o CAP 20. A Figura 5.3 é um exemplo da variação do custo do cimento em relação ao CAP 20.

As Tabelas 5.21a a 5.21e, a seguir, apresentam os valores de ponto de equilíbrio de VPL entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido, para ciclo de vida de 10 anos. Para ciclo de vida de 40 anos, são apresentadas posteriormente, as Tabelas 5.22a. a 5.22e.

O ponto de equilíbrio dos pavimentos são as decorrentes das intercessões de retas das equações de VPL relacionadas às Taxas de Amortização (Ta) variando em 5%, 10% e 15% .

Dessa forma, para cada tipo de base e capacidade de suporte de subleito ter-se-á um ponto de equilíbrio do VPL de custo/m² do pavimento em função da Taxa de Amortização (Ta) dentro do ciclo de vida considerado, ou seja, nos casos em questão, ciclos de 10 anos e ciclos de 40 anos.

Ressalta-se, entretanto, que tais pontos de equilíbrio são válidas para as condições de contorno adotadas em termos de método de dimensionamento da estrutura inicial do pavimento, nível de tráfego, capacidade de suporte de subleito, tipo de base, e modelo de previsão de intervenção com o respectivo ciclo de vida do pavimento.

5.4.6.1. Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido ao longo de 10 anos de vida útil

Tabela 5.21a - Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^5$), ao longo de 10 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	34.14	6,25
	5	34.44	5,28
	6	34.59	4,99
	9	34.57	4.76
Solo Cimento(SC)	2	33.45	5.48
	5	33.51	4,76
	6	33.38	4,83
	9	33.38	4.58
Concreto Rolado(CR)	2	33.25	5.58
	5	33.32	4,86
	6	33.21	4,91
	9	33.19	4,67

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

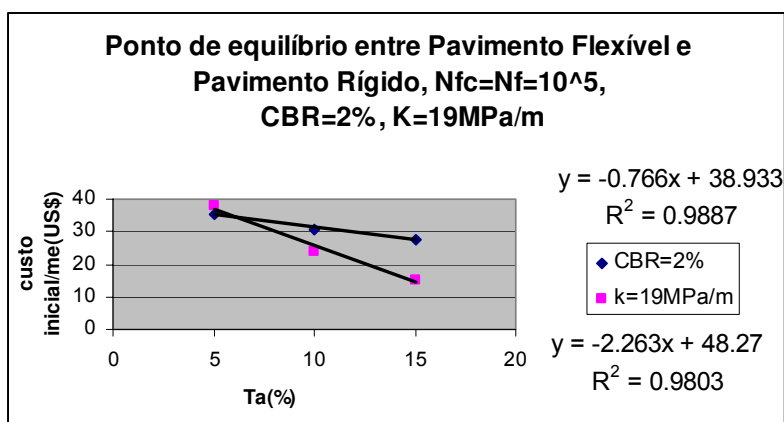


Figura 5.8a – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^5$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: TSD, Base: BGS.

Tabela 5.21b - Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^6$), ao longo de 10 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	30.04	8,57
	5	29,61	8,09
	6	29.64	7,89
	9	29.49	7,78
Solo Cimento(SC)	2	29.72	7,82
	5	29.43	7,39
	6	29.30	7,45
	9	28.91	7,44
Concreto Rolado(CR)	2	29.87	7,76
	5	29.57	7,33
	6	29.43	7,39
	9	29.31	7,25

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

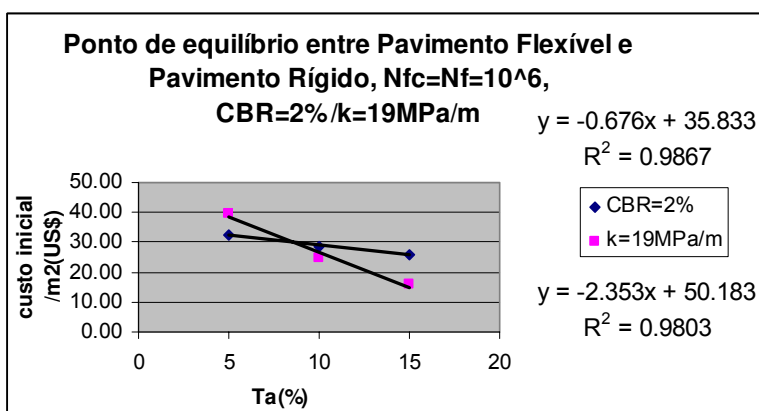


Figura 5.8b – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^6$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest:CAUQ, Base:BGS.

Tabela 5.21c - Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^7$), ao longo de 10 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	33.30	8,17
	5	33.11	7,44
	6	33.14	7,25
	9	32.94	7,16
Solo Cimento(SC)	2	33.44	7,09
	5	32.24	7,06
	6	32.27	6,86
	9	32.35	6,63
Concreto Rolado(CR)	2	33.80	6.94
	5	32.55	6.74
	6	32.37	6.81
	9	32.48	6,57

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

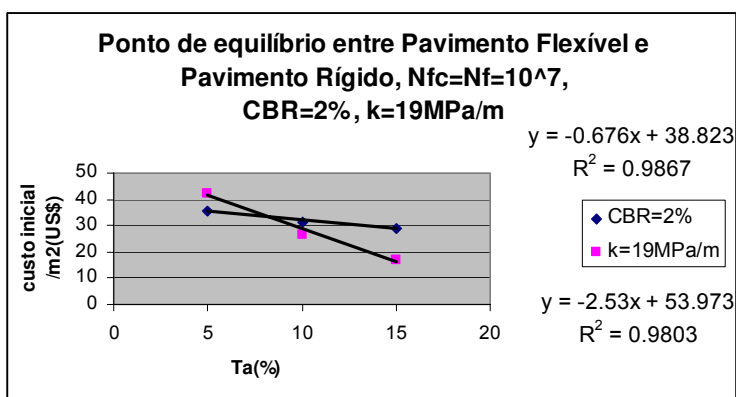


Figura 5.8c – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^7$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest:CAUQ, Base:BGS.

Tabela 5.21d - Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=5 \times 10^7$), ao longo de 10 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	36.67	7,17
	5	36.55	6,37
	6	36.30	6,28
	9	36.09	6,19
Solo Cimento(SC)	2	37.50	5,75
	5	37.22	5,07
	6	36.81	5,25
	9	36.62	5,12
Concreto Rolado(CR)	2	37.81	5,43
	5	37.35	5,01
	6	37.15	4,89
	9	36.75	4,76

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

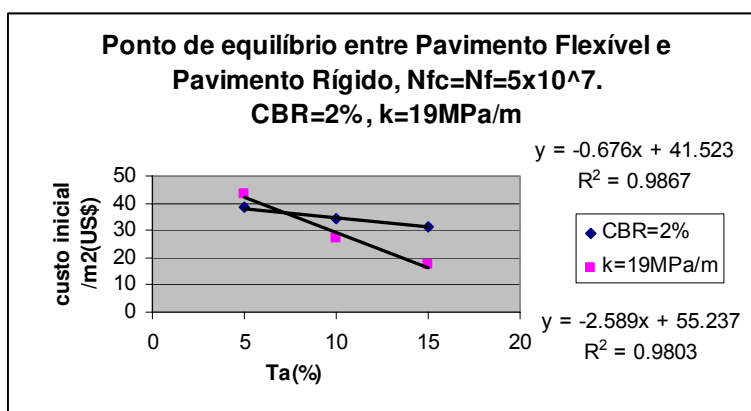


Figura 5.8d – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=5 \times 10^7$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base: BGS.

Tabela 5.21e - Ponto de equilíbrio de VPL do custo inicial entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^8$), ao longo de 10 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	39.99	5,89
	5	39.78	5,04
	6	39.36	5,01
	9	39,37	4,81
Solo Cimento(SC)	2	40.82	4,37
	5	40.60	3,29
	6	40.19	3,77
	9	39.97	3,64
Concreto Rolado(CR)	2	41.09	4,12
	5	40.53	3.83
	6	40.79	3.28
	9	40.58	3.13

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

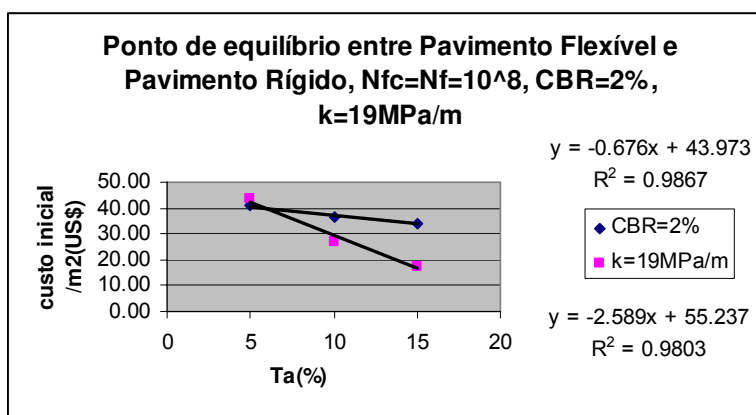


Figura 5.8e – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo inicial / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^8$, CBR=2%, ao longo de 10 anos, Revest: CAUQ, Base: BGS.

5.4.6.2 Ponto de equilíbrio entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido ao longo de 40 anos de vida útil

Tabela 5.22a - Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^5$), ao longo de 40 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	45.70	13,79
	5	45.34	13,76
	6	45.31	13,75
	9	45.13	13,75
Solo Cimento(SC)	2	44.36	13,80
	5	43.91	13,79
	6	43.81	13,80
	9	43.63	13,79
Concreto Rolado(CR)	2	44.19	13,81
	5	43.72	15,80
	6	43.67	13,81
	9	43.53	13,80

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

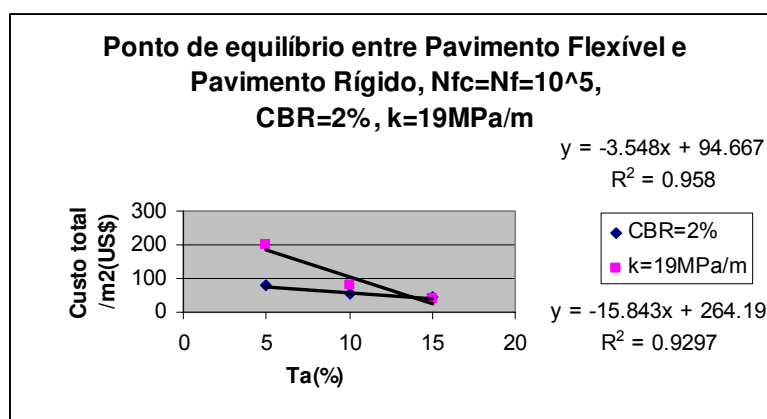


Figura 5.9a – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo total / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^5$, CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: TSD, Base: BGS.

Tabela 5.22b - Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^6$), ao longo de 40 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	36.72	14,40
	5	35.98	14,39
	6	35.91	14,39
	9	37,32	14,28
Solo Cimento(SC)	2	35.96	14,38
	5	35.38	14,38
	6	35.27	14,38
	9	34.88	14,40
Concreto Rolado(CR)	2	36.08	14,37
	5	35.50	14,37
	6	35.38	14,38
	9	35.16	14,38

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

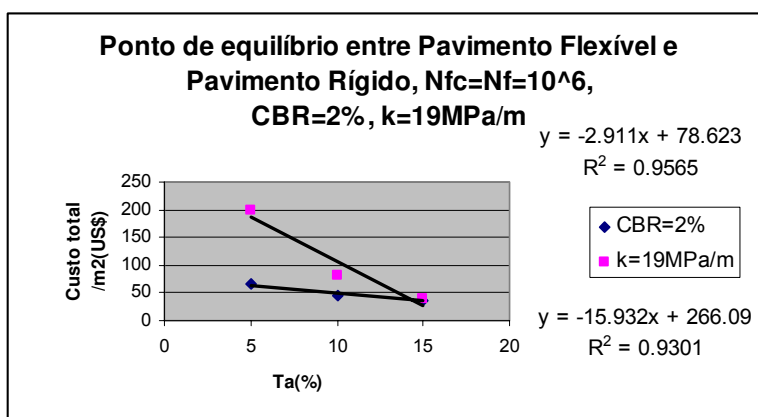


Figura 5.9b – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo total / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^6$, CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest:CAUQ, Base:BGS.

Tabela 5.22c - Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^7$), ao longo de 40 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	40.10	14,26
	5	39.60	14,20
	6	39,42	14,23
	9	39.15	14,23
Solo Cimento(SC)	2	39.67	14,21
	5	38.32	14,25
	6	38.24	14,25
	9	38.19	14,24
Concreto Rolado(CR)	2	39.99	14,19
	5	38.45	14,24
	6	38.33	14,24
	9	38.30	14.23

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

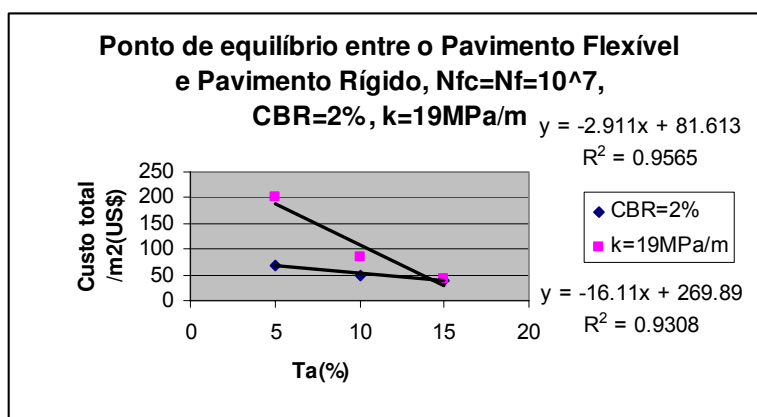


Figura 5.9c – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo total / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^7$, CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest:CAUQ, Base:BGS.

Tabela 5.22d - Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=5 \times 10^7$), ao longo de 40 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	43.30	14,09
	5	42.72	14,06
	6	42.40	14,07
	9	42.10	14,07
Solo Cimento(SC)	2	43.44	14,00
	5	42.73	13,99
	6	42.38	14,01
	9	42.08	14,02
Concreto Rolado(CR)	2	43.60	13,98
	5	42.84	13,98
	6	42.53	13,99
	9	42.24	13,99

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

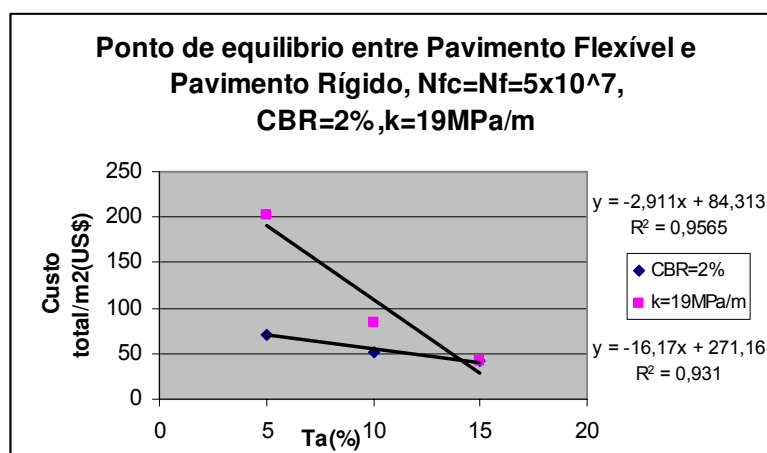


Figura 5.9d – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo total / m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=5 \times 10^7$, CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base: BGS.

Tabela 5.22e - Ponto de equilíbrio de VPL do custo total entre Pavimento Flexível e Pavimento Rígido para determinado CBR ou K, tipo de base ou sub-base e Nível Tráfego($N_f=N_{fc}=10^8$), ao longo de 40 anos

Tipo de Base ou Sub-base	CBR(%) ou K=MPa/m	Custo/ m ² (US\$)	Taxa de amortização(%)
Brita Graduada Simples(BGS)	2	46.29	13,91
	5	45.58	13,88
	6	45.31	13,89
	9	44.98	13,89
Solo Cimento(SC)	2	46.24	13,82
	5	45.65	13,81
	6	45.29	13,83
	9	44.96	13,84
Concreto Rolado(CR)	2	46.53	13,79
	5	45.76	13,80
	6	45.66	13,79
	9	45.38	13,80

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

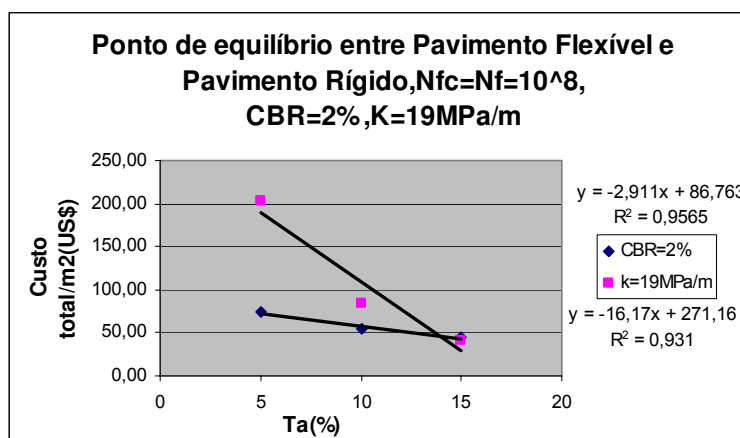


Figura 5.9e – Ponto de equilíbrio de VPL do Custo total /m² versus Ta(%), $N_f=N_{fc}=10^8$, CBR=2%, ao longo de 40 anos, Revest: CAUQ, Base: BGS.

Considerou nesta avaliação o Pavimento Flexível dimensionado para 10 anos e o Pavimento Rígido dimensionado para 20 anos em cenários de custo inicial e custo total em função do VPL a Ta para 10 anos e de 40 anos.

Tendo tratado da aplicação desta avaliação na definição do ponto de equilíbrio em que o Pavimento Rígido se torna economicamente mais interessante que o Pavimento Flexível, passa-se às conclusões decorrentes dos resultados obtidos nos estudos econômicos.

5.5. Avaliações sobre o estudos econômicos dos pavimentos em operação

Este estudo identificou o ponto de equilíbrio econômico entre o uso de Pavimento Flexível ou de Pavimento Rígido em função do nível de tráfego e da capacidade de suporte de subleito, relacionado ao custo/m² e à taxa de amortização.

Foi considerado o dimensionamento do Pavimento Flexível pelo método CBR e o do Pavimento Rígido pelo método PCA/66, utilizando cenários de intervenção ao longo de um ciclo de vida de 10 e 40 anos, em que os materiais são variados e referenciados a um mesmo patamar monetário e temporal através da variável dependente Valor Presente Líquido (VPL).

Verificou-se que, quaisquer que sejam os procedimentos de dimensionamento empregados para definir o tipo de pavimento em um empreendimento rodoviário, eles devem ser acompanhados de uma análise econômica utilizando-se do conceito de *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA).

Uma vez que o custo de um pavimento envolve custo inicial e custo de intervenções, a simples análise de custo inicial mostrou não ser a melhor opção ao longo do ciclo de vida de um pavimento sob o ponto de vista do investidor, em função do custo de captação do dinheiro no mercado.

A T_a mostrou ser o parâmetro fundamental e elemento balizador para o decisor na escolha do tipo de pavimento a se adotar. A relação $T_a/\text{custo}/\text{m}^2$ (US\$) expressa nas tabelas 5.21a a 5.21e e 5.22a a 5.22e caracteriza o momento em que o Pavimento Rígido se torna mais interessante economicamente que o Pavimento Flexível, para determinado nível de tráfego, dada capacidade de suporte de subleito e tipo de sub-base.

O Pavimento Flexível mostrou-se, de maneira geral, economicamente mais interessante que o Pavimento Rígido e dependente da taxa de amortização, que é inversamente proporcional ao VPL, uma vez que, quanto maior for a T_a , menor será o VPL. O custo de intervenção (manutenção e restauração) é calculado a preços atuais através do VPL e desembolsados no futuro, em função do ciclo de vida do pavimento.

O caso mais crítico desta avaliação em termos de estrutura de pavimento, trata-se de uma situação de decisão na qual a capacidade de suporte do subleito é de $\text{CBR} = 2\%$ e o Nível de Tráfego de 10^8 .

Nesse caso, a custo inicial e ciclo de vida de 10 anos, o Pavimento Rígido com sub-base de CR mostra-se economicamente mais viável que o Pavimento Flexível com base de BGS.

Entretanto, ao se considerar um ciclo de vida de 40 anos, o Pavimento Flexível torna-se mais interessante economicamente que o Pavimento Rígido, tendo como ponto de equilíbrio a T_a em 13,79%, conforme apresentado na tabela 5.23, a seguir.

Tabela 5.23 - Comparação de VPL entre custo inicial e custo total para $\text{CBR}=2\%$, $N_{fc}=N_f=10^8$

$T_a(\%)$	VPL do Custo inicial / $\text{m}^2(\text{US\$})$		VPL do Custo total / $\text{m}^2(\text{US\$})$	
	Flexível	Rígido	Flexível	Rígido
5	40.82	39.82	74.00	199.49
10	36.76	25.01	54.07	81.84
15	34.06	16.03	44.89	39.90
Ponto de equilíbrio	Ta: 3,97% , US\$ 41.28/ m^2		Ta: 13,79% , US\$ 46.64/ m^2	

NOTA: custo DER/SP, DEZ/2005.

Ao se considerar a taxa de juros informada pelo Governo no Brasil de hoje, em torno de 13% a.a. sem considerar a inflação, pode-se dizer que o Pavimento Rígido se torna uma opção bastante interessante do ponto de vista econômico.

Pode-se dizer, portanto, que o Pavimento Rígido constitui opção bastante interessante, do ponto de vista econômico, na medida em que esse percentual seja reduzido – como vem ocorrendo com a estabilidade do País, conforme pode ser observado pela Figura 5.3.

Ressalta-se, contudo, a importância de se utilizar o conceito de LCCA para identificar o ponto de equilíbrio em custo/m² (US\$) função da Ta para determinado nível de tráfego e dada capacidade de suporte de subleito.

Esse tipo de informação facilita a decisão do empreendedor não-especializado em pavimentação, uma vez que abrange o ciclo de vida do pavimento. Embute o processo de dimensionamento inicial ou dos cenários de interseção (manutenção e restauração), uma vez que ao tomador de decisão não cabe o conhecimento da mecânica dos pavimentos.

Ao tomador de decisão, portanto, é dado desenvolver o Planejamento de Implantação de uma Rodovia baseado não somente em seu custo inicial, mas utilizando-se do parâmetro VPL, extremamente sensível à taxa de amortização (Ta) em uma análise de custo de ciclo de vida do pavimento.

Essa análise permite definir recursos de intervenções desde o início do empreendimento, considerando que o custo de implantação de uma rodovia não se restringe ao custo inicial, mas abrange todo o custo de seu ciclo de vida.

Certamente, os valores indicados na metodologia proposta não podem ser utilizados de maneira genérica. O que se retira dessa avaliação é o processo metodológico a ser aplicado em uma análise de custo de ciclo de vida do pavimento.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

6.1. Conclusões

Essa Dissertação, não teve como objetivo a discussão de procedimentos e/ou métodos de cálculo inicial de estruturas de pavimentos e, muito menos, modelos de previsão de intervenções, ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

A contribuição dessa dissertação está na introdução do conceito de que o custo de implantação de uma rodovia não se restringe ao custo inicial, mas abrange todo o custo de seu ciclo de vida útil (custo inicial + custo de intervenções).

Esse conceito permite ao tomador de decisão optar por uma determinada estrutura inicial de pavimento e o modelo de previsão de intervenções para dado subleito, nível de tráfego e taxa de amortização (ta), disponíveis na implantação de uma rodovia, ainda que considere este como sendo um estudo inicial, em termos de planejamento ou como uma ferramenta bastante útil, ainda que não considere o movimento de terra.

O que se observou é que a taxa de amortização a ser empregada em um estudo econômico decisório entre tipos de pavimentos, não pode ser definida “*a priori*”, uma vez que esta é função,

basicamente, do tempo de ocorrência do evento de maior peso, como é o caso das intervenções e do período de tempo entre essas intervenções.

Portanto, para cada hipótese de intervenção ou cada cenário de intervenção, se obtém uma taxa de amortização que define o ponto equilíbrio entre a escolha de um ou outro tipo de pavimento em estudo, uma vez fixado o nível de tráfego, a estrutura inicial e a capacidade de suporte de subleito.

Se se considerar que o ponto de equilíbrio obtido é decorrente de um custo/m² do CAUQ ou da placa, o qual, por sua vez, tem em sua composição de custo um valor específico do CAP e do cimento Portland, pode-se obter também, o ponto de equilíbrio entre o CAP e o cimento Portland.

Tais pontos de equilíbrio entre o CAP e o cimento seriam os decorrentes de outras 2 (duas) simulações semelhantes, variando o custo das matérias-primas CAP e cimento, configurando dessa forma 3 (três) valores para a Taxa de Amortização e 3 (três) de preço para o CAP e o cimento.

Conseqüentemente, podem ser criadas retas ou curvas genéricas nas quais na abscissa se manteria a Taxa de Amortização (Ta%) e na ordenada, para facilitar a identificação da melhor solução, entrar-se-ia com a diferença percentual de preço entre o CAP e o cimento, e não com o custo/m² dos pontos de equilíbrio decorrentes.

Essas simulações, entretanto, não podem ser generalizadas. Os pontos de equilíbrio são válidos para as condições de contorno adotadas nas simulações propostas.

Trata-se esse estudo, portanto, de uma maneira simples, em linguagem acessível a qualquer administrador, na medida em que a informação é de custo/m² (US\$) para determinada Ta (%) dado um nível de tráfego e capacidade de suporte de subleito.

Concluiu-se, que deve ser evitado optar por um tipo de pavimento apenas em razão de seu custo inicial. O custo de um pavimento envolve custo inicial e custo de intervenções.

A simples análise de custo inicial mostrou não ser a melhor opção ao longo do ciclo de vida de um pavimento sob o ponto de vista do investidor, em função do custo de captação do dinheiro no mercado.

A análise de custo de ciclo de vida de pavimentos (*Life Cycle Cost Analysis – LCCA*) é a que melhor reflete o momento em que um determinado pavimento se torna mais interessante, do ponto de vista econômico, que outro pavimento.

Esta análise não é sensível ao custo inicial de um pavimento, mas sim ao custo e o tempo de ocorrência da intervenção. Portanto, os processos de deterioração e sugestões de recuperação que apresentam expectativas de vida para o tipo de tratamento que se utiliza em uma intervenção, devem nortear o bom senso em uma análise de custo de ciclo de vida de pavimentos.

O importante, então, é definir o momento em que se fazem necessárias intervenções nos pavimentos de forma a aumentar seu ciclo de vida. Isso implica em observar o desempenho de estruturas de pavimentos que foram implantadas na área e seu comportamento em face às tensões e deformações decorrentes das condições climáticas, mudanças decorrentes das características do nível de tráfego, etc.

Como visto, o método de dimensionamento inicial adotado nessa dissertação, para o caso de Pavimentos Flexíveis, mostra que a vida útil destes é mais sensível ao Nível de tráfego, à capacidade de suporte do subleito e a espessura total do pavimento. Portanto, não analisa o tipo de material utilizado, mas recomenda uma capacidade de suporte mínima em função do CBR. Como consequência pode-se variar o tipo de material usado em prol de um menor custo, desde que se mantenham as condições mínimas de suporte deste.

Para Pavimentos Rígidos a vida útil é mais sensível à espessura da Placa, à resistência a tração na flexão e ao nível de tráfego. Portanto, não é sensível ao material de sub-base ou à capacidade de suporte do subleito, sendo como consequência, mais recomendado para subleito de baixa capacidade de suporte.

Os estudos desenvolvidos, portanto, são válidos porque abrem ensejo a diversas conclusões que podem servir de referência para análise econômica comparativa entre tipos de pavimentos. Dentre estas, atendo-se a metodologia de dimensionamento e hipóteses de intervenção estudadas, pode-se citar:

1. A variação no valor de CBR pesa muito pouco no custo da matéria-prima de maior peso na composição de uma estrutura de pavimento dimensionada pelo método da USACE, introduzido no Brasil por SOUZA (Pavimento Flexível) e pelo método PCA/66 (Pavimento Rígido).

2. Pode-se buscar um ponto de equilíbrio decorrente de cada estrutura de pavimento em função da taxa de atratividade, considerando-se tráfegos compatíveis, variando o CBR de subleito para determinados custos iniciais e cenários de intervenção estabelecidos. Tal conclusão teve por base a divisão do custo total/m² (US\$) de Pavimentos Flexíveis por 10 (anos) e os preços dos Pavimentos Rígidos por 20 (anos).

3. Pode-se observar também que, majorando-se o preço do CAP em 20,36% e minorando-se o preço do cimento em 28,53%, que haverá um momento, função do tráfego, em que o preço inicial (US\$/m²) do Pavimento Rígido será inferior ao do Pavimento Flexível.

4. Em se tratando custo inicial ($T_a = 0$), não se observaram variações significativas no custo/m² (US\$) para valores extremos de $N_f = 10^5$ e $N_f = 10^8$. Entretanto, o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tem participação na decisão. Quanto maior a Taxa de Amortização e maior o nível de tráfego, menor o peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$), em se tratando de uma análise econômica.

5. A influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a diminuir com o aumento o nível de tráfego, ao se diminuir o número de intervenções e os custos decorrentes dessas intervenções. Entretanto, a influência do peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$) tende a aumentar, com o aumento o nível de tráfego, ao se reduzir o número de intervenções e aumentar os custos decorrentes dessas intervenções.

6. Para uma mesma capacidade de suporte do subleito, na medida em que se aumenta a Taxa de Amortização, o custo total/m² (US\$) diminui, caracterizando-se a forte influência da Taxa de Amortização em uma análise econômica ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

7. Quanto maior o custo relativo de intervenção, maior a influência da intervenção no custo total do pavimento caracterizada pela Taxa de Amortização, quando se analisam pequenos valores no peso da contribuição percentual da intervenção no custo total/m² (US\$).

8. Quando se aumenta o nível de tráfego e o custo da intervenção, o custo total tende a se igualar. Esse fato se observa quando o custo da intervenção é majorado significativamente em relação a um custo de referência inicial.

9. Finalmente, pode-se concluir que, em uma análise econômica, o custo da intervenção é decisivo. Portanto, ao se desenvolver uma análise econômica visando-se optar por um tipo de estrutura de pavimento, deve-se avaliar não somente o custo inicial do pavimento, mas sim o custo total, que envolve o custo inicial acrescido do custo das intervenções.

Como os estudos desenvolvidos envolveram uma análise econômica dentro dos prazos estabelecidos pelos métodos adotados, ou seja, 10 anos para Pavimentos Flexíveis e 20 anos para Pavimentos Rígidos, entendeu-se que haveria necessidade de se estender o período de análise para observar sua influência no custo de ciclo de vida dos pavimentos.

Partiu-se então para definir qual o período máximo que seria interessante adotar em uma análise de custo de ciclo de vida de pavimentos.

Ao final da análise econômica se introduziu, então, uma avaliação e comparação econômica entre tipos de pavimentos em operação para vários horizontes. Teve como objetivo uma aplicação dos estudos desenvolvidos de forma a nortear as considerações de uma análise de custo de ciclo de vida quando a análise envolve variações entre tipos de pavimentos e materiais utilizados como camada de base e que muitas vezes, como é o caso do concreto rolado é apresentado como uma solução econômica de mercado, considerando apenas o seu custo inicial.

Analisou-se, portanto, um período de 40 anos por ser esse um período bastante representativo quando se trabalha com Taxa de Amortização de 5%, 10% a 15%. A prática de mercado para estudos econômicos está entorno de 12%, conforme apresentado no relatório de administração e demonstrações contábeis da CONCEPA - Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S/A, ref. a 2005, que pode ser observado no site: (www.concepa.com.br).

Pode-se identificar o ponto de equilíbrio econômico entre o uso de Pavimento Flexível ou de Pavimento Rígido em função do nível de tráfego e da capacidade de suporte de subleito, relacionado ao custo/m² e à taxa de amortização, não somente para Bases de Brita Graduada, mas também para o caso de Bases cimentadas (Concreto Rolado e Solo cimento), visando mostrar que análise de custo de ciclo de vida, pode ser de grande utilidade, qualquer que seja condição de contorno que se esteja analisando.

O Pavimento Flexível mostrou-se, de maneira geral, economicamente mais interessante que o Pavimento Rígido e dependente da taxa de amortização, que é inversamente proporcional ao VPL, uma vez que, quanto maior for a Ta, menor será o VPL. O custo de intervenção (manutenção e restauração) é calculado a preços atuais através do VPL e desembolsados no futuro, em função do ciclo de vida do pavimento.

O caso mais crítico da avaliação, em termos de estrutura de pavimento, trata-se de uma situação de decisão na qual a capacidade de suporte do subleito é de CBR = 2% e o Nível de Tráfego de 10⁸.

Nesse caso, a custo inicial e ciclo de vida de 10 anos, o Pavimento Rígido com sub-base de CR mostra-se economicamente mais viável que o Pavimento Flexível com base de BGS. Entretanto, ao se considerar um ciclo de vida de 40 anos, o Pavimento Flexível torna-se mais interessante economicamente que o Pavimento Rígido, tendo como ponto de equilíbrio a Ta em 13,79%.

Ao tomador de decisão, portanto, é dado desenvolver o Planejamento de Implantação de uma Rodovia baseado não somente em seu custo inicial, mas utilizando-se do parâmetro VPL, que é sensível à taxa de amortização (Ta) em uma análise de custo de ciclo de vida do pavimento.

Essa análise permite definir recursos de intervenções desde o início do empreendimento, considerando que o custo de implantação de uma rodovia não se restringe ao custo inicial, mas abrange todo o custo de seu ciclo de vida.

Certamente, os valores indicados na metodologia proposta não podem ser utilizados de maneira genérica. O importante é o processo metodológico passível de ser aplicado em uma análise de custo de ciclo de vida do pavimento.

6.2. Sugestões para futuras pesquisas

Em decorrência dessa dissertação, surgem como pontos de partida para novos estudos as seguintes possibilidades:

1) A aplicação da metodologia proposta, utilizando-se de outros métodos de dimensionamento inicial do pavimento aliado a outros cenários decorrentes de curvas de desempenho ou curva de sobrevivência de trechos específicos que disponham de séries históricas, ou ainda como aplicação genérica, visando observar o ponto de equilíbrio entre os tipos de pavimentos considerando o custo/m² e a Ta .

2) O desenvolvimento de um programa de computador em que se adotaria o processo lógico desenvolvido, tendo como sub-rotina o processo de dimensionamento inicial, que poderia ser efetivado através de métodos empíricos, semi-empíricos ou mecanísticos, aliado também, como sub-rotina, a um processo de intervenção (manutenção e restauração), de forma a ser inserido em um Sistema de Gerência de Pavimentos.

3) A evolução na metodologia proposta, inserindo-se outros parâmetros econômicos de forma a facilitar a decisão do empreendedor, tais como período de retorno do investimento, etc., já visando as Parcerias Público Privadas (PPPs).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Revista Dirigente Construtor Volume XII nº. 1 “Asfalto ou concreto: os fatores em jogo”, FEV/1976.
2. KAAN, O., et al - “Guidelines for Life Cycle Cost Analysis”, Final Report (FHWA-NJ-2003-012), New Jersey, FHWA, USA, July 2003.
3. ABNT - Associação Brasileira da Normas Técnicas, TB-372 - Serviços de Pavimentação, Rio de Janeiro, 1990.
4. MEDINA,J. – “Fundamentos da Mecânica dos Pavimentos”, Tese de concurso para prof.titular da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, AGOSTO/1988.
5. PREUSSLER, E.S & PINTO,S. – “Proposição de método para o projeto de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência”, anais da 17ª RAPv, 1982, Brasília-DF.
6. MOTTA, L.M.G – “Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas”, Tese de D. Sc., UFRJ/COPPE, 1993.

7. PITA, M.R. – “Construção de pavimentos de Concreto Simples”- ET-81, ABCP, São Paulo, 1989.
8. YODER, E.J.; WITCZAK, M.W. – “Principles of Pavement Design”, 2^a Edition, John Wiley & Sons. New York, 1975.
9. SHIRAZ,T. “ Developed Systematic Approach to Terminate Optimum Strategies for Repair and Rehabilitation of Concrete Pavement” , Federal Highway Administration (Subcontractor to Texas Transportation Institute) Washington DC, 2003.
10. WESTERGAARD, H.M. – “Theory of Stress in Roads Slabs”- Proc.of Annual Meeting. HRB, National Research Council, Washington-DC,1925.
11. PICKET, G. & RAY,G.K – “Influence Chart Concrete Pavement”. Trans. ASCE 116, 1951, San Francisco Saction,USA.
12. HILSDORF, H.K – “Fatigue strength of concrete under varying flexural stresses, American Concrete Institute, Detroit, 1966.
13. ERES Consultancy - “Review of Life-Cycle Costing Analyses Procedures” Consultant for the Ministry of Transportation of Ontario,Canada,1998.
14. SALATHÉ,J.E., *et al* – “Avaliação de cimentos asfálticos de petróleo para emprego em pavimentação”, Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias(ABCR), RJ,2004.
15. Canadian Cement Association (CCA)-“The benefits of Concrete Roads”, TP306 , Ottawa, Canada, 2000.
16. NEUFVILLE ,R. – “Choice of Highway Pavement: Asphalt or Concrete”, Massachuset TSD Institute of Technology(MIT), 2004

17. WILLIAM H. T. et al , “Life Cycle and Loading Characteristics of AASHO Designed Rigid and Flexible Pavement in Louisiana”, Final Report (Research Report No. 214, Research Project No. 84-IP(B), February, 1989.
18. ZEMINIAN, M.G.S.L – “Estudo comparativo de custos de pavimentos rígido e flexível para a definição de uma política de pavimentação no Estado de Minas Gerais”, 1.º Congresso Brasileiro de Pavimentos de Concreto, MG, agosto/77.
19. DOMINGUES, F.A.A. - “Comparação econômica entre um trecho de pavimento asfáltico e um trecho de pavimento rígido da rodovia dos imigrantes, levando-se em conta os seus desempenhos durante 20 anos”. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador/Bahia, de 24 a 29 de novembro de 1996, ABPv.
20. LEOMAR. J.F.J, SORIA A. M.H, WIDMER J.A – “Efeitos das solicitações do tráfego sobre os custos de construção, manutenção e utilização de rodovias, Vol.3 - Anais da 29ª RAPv – 23 a 27 OUT 1995, Cuiabá/MT.
21. PEDRAZZI, T.B – Proposição de uma estratégia para alocação de recursos financeiros em atividades de manutenção e restauração de pavimentos flexíveis”- tese de mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 2004.
22. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C., 1993.
23. MONISMITH, C.L – Asphalt Mixture behaviour in repeated flexure – report No. TE 66-6, University of California, Berkeley, USA, 1967.
24. SAAL R.N.J e PELL, P.S. – “Fatigue of bituminous roads mixes kolloid-Zeitchrift, 171 Bd, Helf 1, Seite 61-71, 1960.
25. HUANG, Y.H. Pavement Analysis and Design, University of Kentucky – Prentice-Hall, inc., Kentucky, USA, 1993.

26. CARDOSO,S.H “ Procedure for flexible airfield pavement design, based on permanent deformation”, Tese de Doutorado, Universidade de Maryland, Maryland, USA, 1987.
27. NEBRASKA Department of Roads(NDOR) – “Pavement Maintenance Manual”, Nebraska, USA, 2002.
28. PEREIRA, D.S – “ Pavimentos de Concreto de cimento Portland” , Laboratório de Mecânica dos Pavimentos – PTR – EPUSP, São Paulo, SP.
29. PITA,M, DUTRA, M.C, PENNA,P.F.R, ABCP- Materiais para pavimentos de Concreto simples, Livro Técnico,JUN/1999.
30. BALBO, J.T. – “Análise crítica dos Métodos para Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Simples”45º Congresso Brasileiro de Concreto.
31. DNER-48 - “ Manual de Pavimentos Rígidos 1ª Edição, DNER, Rio de Janeiro,1992.
32. GARNETT NETO, G – “Estudo Técnico e Econômico da Manutenção de um Pavimento de Concreto”, dissertação de mestrado, UNICAMP/2000.
33. CARVALHO, M.D – Recuperação e Manutenção de Pavimentos de Concreto, Prática Recomendada”, ABCP, Boletim Técnico N°. 104, São Paulo, 1984.
34. DNER-ES 328/97 – “Especificação de Serviços, Manual de Pavimentos Rígidos “,1992.
35. QUEIROZ, C.A.V – “Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil”, Tese de Doutorado pela Universidade do Texas, Austin – Texas/USA , 1.981.
36. PITA,M.R – Estudo Técnico e econômico – Pavimento de Concreto de Cimento Portland, Rodovia BR-304, Rio Grande do Norte, ABCP, 2001.

37. CARVALHO,M.D.; GROSSI, L.C. e IGNATI, M.B. – “Custos comparativos de Pavimentos Rígidos e Flexíveis em Áreas Críticas de Solicitação de Tráfego. 28ª Reunião Anual de Pavimentação-ABPv, Belo Horizonte-MG,1994.
38. FELIPE AUGUSTO,A D e NISHYAMA, E.S – “Comparação econômica entre trecho de Pavimento em Concreto Asfáltico e um trecho de pavimento rígido da rodovia imigrantes, levando-se em conta os seus desempenhos durante 20 anos, anais da 30ª RAPv – 24 a 29 NOV 1994, Salvador , Bahia.
39. SAVERI, A.A. – “Considerações sobre os custos de pavimentos rígidos com base em conceitos de gerência de pavimentos”, Tese de mestrado, USP,1977.
40. ADLER,H.A. – “Avaliação econômica dos projetos de transportes – metodologia e exemplos”, Editora Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, tradutor ARAUJO,H.L, Rio de Janeiro,1978.
41. PARK,C.S. e SHARP-BETTE, G.P. – “Advanced Engineering Economics”, John Willey & Sons,Inc.,1990.
42. HIRSCHFELD,H – “Engenharia Econômica e Análise de Custos” Editora Atlas S.A., São Paulo, 1992.
43. LAPONNI, J.C. – Avaliação de Projetos de Investimento”- Editora Lapponi, S.A, São Paulo, 1996.
44. BISCA, P. – “EC 021 – Economia dos Transportes, avaliação econômica-parte 1, UNICAMP, FEV/1993;
45. DER/SP – Composição de Custo obtido junto ao escritório de Campinas;
46. MUDRIK,S. – “Caderno de Encargos, Pavimentação e Serviços Complementares”, Volume 2, Editora Edigard Blucher, São Paulo, 1992.

47. PAIVA, C.E. L e RODRIGUES FILHO, S. - Estudo econômico comparativo entre tipos de pavimentos de vias urbanas, Revista Pavimentação, Ano I-Nº. 2, Abril/2006;
48. SOUZA, M.L. – “Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis”, D.N.E.R, 1966 e alterações posteriores. (47)
49. REGIS,R.M.- “Projeto de Pavimentos” - Apostila do Curso de Projeto Estrutural de Pavimentos, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2001.
50. PCA/66 - “Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários”, ABCP – Estudo Técnico Nº.14, SP, 1986. (48)
51. CERVO,T.C. e BALBO,J.T – “Modelagem a fadiga de concreto empregado no Brasil versus modelo atualmente utilizado no país em projetos”, 36ª RAPv – 24 – 26 AGO 2005, Curitiba.
52. BASÍLIO,F.A – “Vida Útil de Pavimentações”, ABCP, 1976.
53. PAIVA e PEDRAZZI – “Estudo econômico de processos de manutenção/restauração de pavimentos asfálticos deteriorados”, Reunião de Pavimentação, Costa Rica, 2005.
54. PEREIRA,A M; GONTIJO, P.R.A – “Diretriz Metodológica para Avaliação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis e Semi-Rígidos, Anais do 10º. Encontro do Instituto Brasileiro de Asfalto(IBP), Rio de Janeiro, 1990.

BIBLIOGRAFIA DE APOIO

1. FILONENKO, M.B. – Theory of Elasticity “, MIR PUBLISHERS, Moscou, 1968;
2. MODULE 3 – 2, PCC DESIGN PROCEDURES, PCA.

3. MISSOURI Department of Transportation (MoDOT/Industry), “Pavement Design and Type Selection Process”, Phase 1 Report, March ,2004.
4. PATERSON, W.D.O - “Road Deterioration and Maintenance Effect – Models for Planing and Management “, World Bank , The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland/USA (1987).
5. WISCONSIN D.T. (WisDOT RD & T Program) – “Transportation Synthesis Report – Pavement Service Life – Rev.2, SEPETEMBER 8, 2004.
6. PEREIRA, A M – “Análise crítica de fatores de equivalência adotados pelo DNER e sua adequação às rodovias de tráfego pesado”, Boletim No. 11 , ABPv, RJ, 1985.
7. PAIVA, C.E.L. e GARNNETT NETO, G. – “Análise econômica de manutenção de um Pavimento Rígido de Concreto “, 33^a RAPv, Florianópolis-SC, 2001.
8. PUBLIC ROAD Magazine, Washington, FHWA, USA, vol 36, nº. 9, AGO/1971.
9. CYSNE,R.P – “Aspectos Macro e Microeconômicos das Reformas Brasileiras”, LC/L.1359, MAIO/2000.
10. ERI (Engineering & Research Int’l Inc) . “Sistema de Gerência de Pavimentos”, Savoy, Illinois, USA,1982.
11. PCS/LAW (Pavement Consultancy Services) “Sistema de Gerência de Pavimentos”, Maryland, USA, 1982
12. TRDI (Texas Research & Development Inc.) “Sistema de Gerência de Pavimentos", Texas, USA, 1999;
13. MARCON, A. F. – “Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina” – Tese de Doutorado – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos/SP, 1996.

14. HASS, R.; HUDSON, W.R. ; ZANIEWSKI, J – Modern Pavement Management – Krieger Publishing Company – Malabar – Flórida/USA , 1.994.
15. NASCIMENTO, D.M – “Análise Comparativa de Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis”, Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, 2005;
16. SILVA, Paulo .R. A “Manual de Patologia e manutenção de Pavimentos.São Paulo. Pini . 2005”;
17. BALBO, José. T. “Pavimentos Asfálticos Patologias e ManutençãoSão Paulo . Plêiade.1997”;
18. DOMINGUES, Felipe A A. “Manual para Identificação de Defeitos de Pavimentos Asfálticos de Pavimentos.São Paulo.1993”;
19. LEOMAR,J.F.J ,et al. “Defeitos e atividades de Manutenção e reabilitação em Pavimentos Asfálticos. 1999”.

APÊNDICES

Os apêndices apresentados a seguir foram utilizados tanto no experimento quanto na avaliação.

APENDICE A - COMPOSIÇÕES DE CUSTOS

SISTEMA DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS - DER/DERSA/DH/DAESP

.DEZEMBRO/2005

1. COMPOSIÇÃO DE CUSTO TSD (TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO)

Código	Nome	Unidade	Valor Unitário	Coeficiente	Valor parcela	%
MATERIAL						
70.04.16	PEDRA BRITADA N.1	m3	26,110	0,38974000	10,169	6
70.04.24	PEDRISCO	m3	26,110	0,63731000	16,640	9
70.10.05	EMULSÃO ASF.RR-2C	kg	1,057	119.7209082	126,545	76
M.OBRA						
71.02.14	FEITOR	HORA	11,152	0,02857000	0,318	0
71.02.30	SERVENTE	HORA	5,594	0,71429000	3,995	1
EQUIPAMENTO						
72.08.01.04	CHAS.IRRIG.6000L C-D	HORA	55,099	0,00571000	0,314	0
72.09.01.04	CHAS.BASC. 5M3 C-D	HORA	46,944	0,08571000	4,023	2
72.14.01.04	CHAS.ESPARG.6000 C-D	HORA	63,739	0,02857000	1,821	1
72.23.01.04	DIST.A.S/E1000 C-D	HORA	38,385	0,02857000	1,096	0
72.47.03.04	ROLO COMP.TAN12T C-D	HORA	78,089	0,02857000	2,231	1
72.48.02.04	ROLO COMP.P.A.27T C-D	HORA	71,573	0,02857000	2,044	1
COM BDI(35%)					232,10	
US\$(12/2005)					87,58	

2. COMPOSIÇÃO DE CUSTO BINDER GRAD.B S/DOP(CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE)

Código	Nome	Unidade	Valor Unitário	Coeficiente	Valor parcela	%
MATERIAL						
70.04.02	AREIA LAVADA	m3	33,130	0,14800000	4,903	1
70.04.16	PEDRA BRITADA N.1	m3	26,110	0,54710000	14,284	5
70.04.24	PEDRISCO	m3	26,110	0,29600000	7,728	3
70.04.26	PÓ DE PEDRA	m3	20,170	0,51480000	10,383	4
70.10.02	CAP-20	kg	1,206	119,3665008	143,956	58
M.OBRA						
71.02.12	ENC.TURMA	HORA	16,937	0,07143000	1,209	0
71.02.30	SERVENTE	HORA	5,594	0,71429000	3,995	1
EQUIPAMENTO						
72.09.01.04	CHAS.BASC.5M3 C-D	HORA	46,944	0,35714000	16,765	6
72.41.03.04	PA CAR.S/PN3,6M3 C-D	HORA	144,754	0,07143000	10,339	4
72.45.04.04	ROLO COMPAC.11,3TC-D	HORA	72,642	0,07143000	5,188	2
72.48.02.04	ROLO COM.P.A.27T C-D	HORA	71,573	0,07143000	5,112	2
72.52.03.04	US.ASFALT.80T/H C-D	HORA	199,507	0,07143000	14,250	5
72.54.01.04	VIB.AC.AS.400T/H C-D	HORA	106,859	0,07143000	7,632	3
COM BDI(35%)					326,35	
US\$(12/2005)					123,15	

3. COMPOSIÇÃO DE CUSTO CAM.ROLAM.CAUQ GRAD.C S/DOP(CONCR. BETUMINOSO US. A QUENTE)						
Código	Nome	Unidade	Valor Unitário	Coeficiente	Valor parcela	%
MATERIAL						
70.04.02	AREIA LAVADA	m3	33,130	0,77065000	25,531	9
70.04.16	PEDRA BRITADA N.1	m3	26,110	0,33580000	8,767	3
70.04.24	PEDRISCO	m3	26,110	0,18787000	4,905	1
70.04.26	PÓ DE PEDRA	m3	20,170	0,18787000	3,789	1
70.10.02	CAP-20	kg	1,206	138,213930	166,686	59
M.OBRA						
71.02.12	ENC.TURMA	HORA	16,937	0,07692000	1,302	0
71.02.30	SERVENTE	HORA	5,594	0,76923000	4,303	1
EQUIPAMENTO						
72.09.01.04	CHAS.BASC.5M3 C-D	HORA	46,944	0,38462000	18,055	6
72.41.03.04	PA CAR.S/PN3,6M3 C-D	HORA	144,754	0,07692000	11,134	3
72.45.04.04	ROLO COMPAC.11,3TC-D	HORA	72,642	0,07692000	5,587	2
72.48.02.04	ROLO COM.P.A.27T C-D	HORA	71,573	0,07692000	5,505	1
72.52.03.04	US.ASFALT.80T/H C-D	HORA	199,507	0,07692000	15,346	5
72.54.01.04	VIB.AC.AS.400T/H C-D	HORA	106,859	0,07692000	8,219	2
					COM BDI(35%)	371,00
					US\$(12/2005)	140,00
4. COMPOSIÇÃO DE CUSTO PAV.CONCRETO S.PLAT.MEC						
Código	Nome	Unidade	Valor Unitário	Coeficiente	Valor parcela	%
MATERIAL						
70.02.01	ACO CA-25	kg	3,070	8,25000000	25,327	7
70.04.02	AREIA LAVADA	m3	33,130	0,57680000	19,109	5
70.04.12	CIMENTO PORTLAND-SC	kg	0,251	1015,27617	277,42432	54
70.04.17	PEDRA BRITADA N. 1 E 2	m3	26,110	0,89200000	23,290	7
70.12.02	LONA PLAS.0,20 MICA	m2	0,793	5,15000000	4,083	1
70.13.02	DISCO DIAMANT.14"	.un	541,233	0,00300000	1,623	0
70.17.05	ADITIVO 104 R	kg	1,659	0,06490000	0,107	0
70.17.08	ADITIVO AR-5 REAX	kg	2,347	0,37080000	0,870	0
70.17.30	PLASTMENT VZ	kg	2,650	0,90640000	2,401	0
70.17.39	SIKAFLEX T-68	kg	24,741	0,19260000	4,765	1
70.25.50	TELA JUTA TIPO M	m	1,376	1,00000000	1,376	0
M.OBRA						
71.02.03	ARMADOR	HORA	6,641	0,30000000	1,992	0
71.02.12	ENC.TURMA	HORA	16,937	0,05000000	0,846	0
71.02.14	FEITOR	HORA	11,152	0,10000000	1,115	0
71.02.27	PEDREIRO CONCRETO	HORA	6,589	1,00000000	6,589	2
71.02.30	SERVENTE	HORA	5,594	2,00000000	11,188	3
EQUIPAMENTO						
72.01.03.04	ACABADORA CONCRETO	HORA	97,190	0,05000000	4,859	1
72.08.01.04	CHAS.IRRIG.6000L C-D	HORA	55,099	0,05000000	2,754	0
72.11.01.04	CHAS.BET. 5M3 C-D	HORA	88,924	0,22500000	20,007	6
72.21.03.04	COMP.XA-175MWD C-D	HORA	52,774	0,05000000	2,638	0
72.41.03.04	PA CAR.S/PN3, 6M3 C-D	HORA	144,754	0,03250000	4,704	5
72.52.02.04	US.CONC.40M3/H C-D	HORA	86,026	0,03250000	2,795	0
72.56.01.04	SERRA PAV.8HP C-D	HORA	10,214	0,10000000	1,021	0
72.64.01.04	TEXTURIZ. CONCR. 46HP	HORA	72,802	0,05000000	3,640	1
72.65.01.04	PULVERIZADOR	HORA	0,081	0,05000000	0,004	0
					COM BDI(35%)	429,35
					US\$(12/2005)	162,01