

Aplicação de um Sistema de Gerência da Manutenção de Pavimentos para Elaboração do Projeto Básico do Lote 01 do Programa CREMA/RS

Paulo Ricardo Rodrigues Pinto¹
Fernando Pugliero Gonçalves²
Régis Martins Rodrigues³
José Augusto de Oliveira⁴

Resumo

Apresenta-se um sistema computacional para auxílio à elaboração de um plano plurianual de investimentos na conservação e restauração dos pavimentos de uma rede rodoviária. O sistema baseia-se na aplicação de modelos para previsão do desempenho dos pavimentos que utilizam a avaliação da condição estrutural dos pavimentos. Árvores de decisão são utilizadas para se detectar as necessidades atuais de manutenção dos pavimentos e critérios para priorização, baseados na oportunidade de se intervir, são aplicados para distribuir no tempo as obras de restauração.

Palavras chave: Gerência de Pavimentos, modelos de previsão de desempenho, manutenção de pavimentos.

² – **Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem:** Av. Borges de Medeiros, 1555 – 9º Andar – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3210 5258 – prpinto@uol.com.br

² – **Pavesys Engenharia Ltda:** Av. João Pessoa 1375/603 – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3212 5927 – pugliero@pavesys.com.br (<http://www.pavesys.com.br/>)

³ – **Instituto Tecnológico de Aeronáutica:** Praça Mal. Eduardo Gomes, Vila das Acácias – São José dos Campos/SP, Fone: 12 3947 6804 – regis@infra.ita.br

⁴ – **Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem:** Av. Borges de Medeiros, 1555 – 9º Andar – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3267 1609 – jaugusto@daer.rs.gov.br

1 – Introdução

Este artigo apresenta o procedimento que foi desenvolvido para a revisão do projeto básico referencial que foi feito em Novembro de 2000 para o Programa Restauração do DAER-RS, envolvendo o Lote 01. A revisão foi motivada por, decorridos mais de três anos, as condições dos pavimentos terem se alterado significativamente em relação àquelas do estudo original. Aproveitou-se a oportunidade para dar um tratamento mais amplo e aprofundado à avaliação dos pavimentos e à detecção de suas deficiências estruturais e funcionais, em relação ao que foi feito no projeto original, com vistas a tornar mais confiável o desempenho futuro das intervenções de manutenção a serem implementadas durante um período de análise de cinco anos.

Todo o processo aqui descrito está consolidado em um programa de computador, denominado SGM (Sistema de Gerência da Manutenção), o qual permite gerar um grande número de estratégias alternativas para alocação de recursos.

2 – Avaliação do Pavimento Existente

2.1 – Estado de Superfície

O procedimento aqui descrito visa descrever o estado de superfície e o conforto ao rolamento de cada faixa de tráfego do pavimento a ser avaliado. A condição dos acostamentos e faixas de segurança é também registrada, de forma mais simplificada que a adotada para as faixas de tráfego. Todos os dados são levantados por Unidade de Análise, e não por estaca ou km. Uma Unidade de Análise consiste de uma faixa de tráfego pertencente a um determinado Subtrecho Homogêneo, com a homogeneidade sendo definida na direção longitudinal. Dentro de um Subtrecho Homogêneo, as diversas faixas de tráfego podem apresentar características diferentes com relação a: tráfego atuante, histórico de manutenção e estado de superfície.

O procedimento aqui apresentado para registro dos defeitos de superfície foi desenvolvido como uma síntese dos procedimentos utilizados por: PMS da CALTRANS, VIZIR do LCPC, DNER-PRO 08/94 e PCI do USACE. Em adição ao registro dos defeitos existentes, o avaliador atribuirá um conceito à condição geral do pavimento, utilizando a escala do PSR (*Present Serviceability Rating*, ou Avaliação de Serventia Atual) da AASHTO. Na atribuição desta nota, o avaliador deverá ponderar o conforto ao rolamento nas velocidades operacionais da via (isto é, levando em conta, por exemplo, que segmentos onde a curvatura horizontal ou a geometria vertical são mais acentuadas levam a velocidades operacionais menores) com o grau de deterioração de superfície observado. Não se trata, portanto, apenas de um conceito do ponto de vista do usuário da rodovia, devendo incluir também uma avaliação de engenharia quanto ao grau de deterioração do pavimento, de acordo com a escala mostrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Avaliação de Serventia Atual

PSR	Conceito	Condição Geral
4 - 5	Excelente	Pavimento praticamente isento de defeitos e com irregularidade perceptível na velocidade máxima do trecho em nível perfeitamente aceitável.
3 - 4	Bom	Presença de poucos defeitos, cuja extensão e severidade não afeta a condição funcional ou a condição estrutural do pavimento. A irregularidade longitudinal percebida pelo usuário trafegando na velocidade máxima do trecho pode ser qualificada como tolerável.
2 - 3	Regular	Pavimento pode requerer restauração, por estarem os defeitos existentes com níveis de extensão ou severidade capazes de afetar a condição estrutural e ou funcional do pavimento. O conforto ao rolamento percebido pelo usuário pode estar em níveis inaceitáveis.
1 - 2	Mau	Pavimento requer intervenção imediata.
0 - 1	Péssimo	Tráfego é prejudicado, tendo que reduzir velocidade devido à deterioração do pavimento. Riscos de segurança para os usuários.

Cada tipo de defeito a ser registrado, selecionado por sua relevância em condicionar o desempenho (funcional ou estrutural) futuro do pavimento, é categorizado em três níveis de severidade, definidos em termos do grau de comprometimento da condição estrutural e ou funcional introduzido pelo defeito no pavimento devido a sua presença. Esses níveis de severidade são:

- 1 ==> aceitável
- 2 ==> tolerável
- 3 ==> intolerável

O nível 1 corresponde ao defeito em sua condição inicial de aparecimento. O nível 2 indica que se deve esperar velocidades progressivamente crescentes de aumento da severidade e da extensão do defeito. O nível 3 está associado a um grau de severidade onde uma intervenção imediata se faz necessária a fim de evitar danos à estrutura do pavimento e ou ao usuário.

A cada registro de presença de um determinado tipo de defeito na severidade que for predominante dentro da área avaliada, deverá ser anotada a extensão com que este se manifesta, utilizando-se os seguintes níveis:

- A ==> alta
- M ==> média
- B ==> baixa

As definições exatas de severidade e de extensão são específicas para cada tipo de defeito. Os defeitos considerados são:

CATEGORIA 1: Trincamento

- Trincamento couro-de-crocodilo (CR)
- Trincamento em bloco (BL)
- Trincas transversais (TT)
- Trincas longitudinais (TL)
- Trincas de escorregamento (TE)
- Trincas de bordo (TB)

CATEGORIA 2: Desintegração

- Painelas (P)
- Desgaste (D)
- Desagregação superficial (DS)
- Erosão de bordo (ER)
- Bombeamento de finos (BF)
- Desplacamento de capa selante (DC)
- Remendos (R)

CATEGORIA 3: Deformações

3.1 - Generalizadas:

- Afundamentos em trilha de roda (ATR)
- Corrugações (COR)

3.2 - Localizadas:

- Escorregamento de massa (EM)
- Depressões (DP)
- Expansão localizada (EL)

Os defeitos porventura existentes que não se enquadrem na relação acima deverão ser anotados na coluna "Observações", apenas quando forem de importância tal a ponto de comprometerem seriamente a condição estrutural ou funcional do pavimento (ex: exsudação de água através de trincas, exsudação de asfalto, segregação em tratamentos superficiais, etc). Os defeitos a serem considerados explicitamente dentro do sistema são descritos a seguir, incluindo as definições pertinentes a cada tipo de defeito dos níveis de severidade e de extensão a serem registrados. Em todos os casos, situações mais graves que as descritas como referentes ao nível 3 de severidade devem ser enquadradas no nível 3. Um dos usos a ser dado ao conceito qualitativo PSR que o avaliador atribuirá à condição geral do pavimento será o de lidar com este tipo de ocorrência, quando for relevante.

O Índice de Serventia Atual, PSI (*Present Serviceability Index*), do pavimento é determinado utilizando a mesma idéia que foi aplicada quando do estudo experimental da *AASHO Road Test* (1958-1960), em que foi feita a média aritmética entre duas avaliações independentes:

- O PSR (*Present Serviceability Rating*, avaliação de serventia atual), em que um engenheiro, com experiência quanto à importância que os diversos tipos de defeitos em seus possíveis níveis de severidade tem para a condição estrutural e ou funcional do pavimento, atribui um conceito à condição geral de superfície, tal como é visualizada com cuidado e em deslocamento a velocidade baixa no segmento

avaliado, incluindo paradas eventuais para melhor identificação visual dos diversos defeitos existentes; e

- O PSI relacionado única e exclusivamente ao conforto ao rolamento percebido pelo usuário trafegando na velocidade média operacional da via. Na *AASHO Road Test*, os mesmos avaliadores que atribuíram o PSR percorriam depois o segmento dentro de um automóvel, estando de olhos vendados para que não houvesse influência de uma avaliação na outra.

Dentro deste princípio, a condição atual (no ano-base) dos pavimentos será avaliada por:

$$PSI = \frac{PSR + PSI_{CR}}{2} \quad [1]$$

onde:

$$PSR = \frac{1}{2} [PSR_{global} + PSR_{IDS}]$$
$$PSI_{CR} = 5 \exp\left(\frac{-QI}{71,5}\right)$$

[2]

ou seja, como sendo a média entre a Avaliação de Serventia Atual (PSR), o PSI associado à irregularidade longitudinal medida (QI). O parâmetro PSR_{IDS} é avaliado de acordo com a correlação (Pereira, 1979):

$$PSR_{IDS} = \frac{309,22 - 0,616 \times IDS}{61,844 + IDS}$$

[3]

onde o Índice de Defeitos de Superfície (IDS) é calculado da mesma forma e utilizando os mesmos fatores de ponderação do IGG (Índice de Gravidade Global, da norma DNER PRO-08/94).

O parâmetro acima indicado por PSR_{global} refere-se ao conceito atribuído pelo avaliador no momento em que está preenchendo a ficha de campo com a extensão e severidade dos defeitos existentes. A idéia por trás de se calcular o PSR como a média entre o PSR_{global} e o PSR_{IDS} é a de minimizar os efeitos da percepção subjetiva do avaliador. De fato, pode-se inclusive analisar a qualidade de uma avaliação simplesmente pelo grau de coerência entre o PSR_{global} atribuído e o PSR_{IDS} calculado.

2.2 – Condição Estrutural do Pavimento

Os módulos de elasticidade das camadas do pavimento foram determinados por retroanálise das bacias de deflexões medidas com o FWD. Foi aplicado o programa Laymod4, o qual efetua também o cálculo do número estrutural, SN, do pavimento, parâmetro que é requerido pelo modelo para previsão de desempenho aqui utilizado e que é apresentado no item 3.1 deste relatório. O cálculo de SN é feito pelo modelo de Rohde (1994), descrito a seguir.

Um processo simplificado de avaliação estrutural consiste no cálculo do número estrutural dos pavimentos pelo processo de Rohde (1994), para uso com o FWD. O método se baseia na ‘regra 2/3’ de Irwin (1993) para explicar a distribuição de tensões e, assim, a origem das deflexões encontradas sob um FWD. Esta regra está fundamentada no fato de que aproximadamente 95 % da deflexão medida na superfície de um pavimento tem origem abaixo de uma linha a 34° com a horizontal. Com base nesta simplificação, pode-se admitir que a deflexão de superfície medida a uma distância de 1,5 vezes a espessura do pavimento tem origem inteiramente no subleito. Rohde definiu, assim, o seguinte índice:

$$SIP = D_0 - D_{1,5H_p} \quad [4]$$

onde:

- SIP = ‘structural index of the pavement’;
- D_0 = deflexão sob uma carga de 40 kN no FWD;
- H_p = espessura total do pavimento.

Em seguida, 7.776 seções de pavimento foram analisadas pela teoria de camadas elásticas e foi utilizada a relação da AASHTO para se calcular o SN de cada uma:

$$SN = 0,04 \sum a_g h_i \left(\frac{E_i}{E_g} \right)^{1/3} \quad [5]$$

onde:

- a_g = coeficiente estrutural do material (por polegada);
- h_i = espessura da camada, mm (com $\sum h_i \leq 700$ mm);
- E_i = módulo de resiliência da camada i ; e
- E_g = módulo de resiliência de materiais padronizados na *AASHTO Road Test*, correspondente a a_g .

Por meio deste procedimento, Rhode obteve a seguinte relação:

$$SN = K_1 SIP^{K_2} H_p^{K_3} \quad [6]$$

com SIP dado em μm , H_p em mm e K_i dado pela Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Coeficientes da fórmula de Rhode

Tipo de Revestimento	K ₁	K ₂	K ₃
Tratamentos Superficiais	0,1165	-0,3248	0,8241
Concreto Asfáltico	0,4728	-0,4810	0,7581

3 – Elaboração da Estratégia de Manutenção

3.1 – Vida Restante dos Pavimentos

A vida restante (tempo esperado até que o pavimento venha a necessitar de restauração, tal como indicado por uma condição terminal dada por $PSI_t = 2,5$) será estimada através de o modelo para previsão de desempenho que é apresentado a seguir. O modelo foi desenvolvido a partir da análise do desempenho das seções experimentais da base de dados DataPave 3.0, estruturada na pesquisa LTPP/FHWA.

Estudos conduzidos para o desenvolvimento do modelo HDM-III do Banco Mundial (Paterson, 1987) chegaram à conclusão de que a evolução da irregularidade longitudinal com o tempo só poderia ser prevista como uma função da evolução dos demais defeitos. Em vista deste aspecto e da conveniência de se dispor, principalmente para efeito de aplicações em Sistemas de Gerência de Pavimentos, de um modelo capaz de prever um parâmetro único que sintetizasse a condição geral do pavimento, procurou-se prever aqui o parâmetro Índice de Serviental Atual (PSI), tal como foi definido no item 2.1.

Esta formulação para o PSI leva em conta os dois grandes aspectos que o afetam, de acordo com a definição original da AASHTO, a saber: a condição funcional em termos de conforto ao rolamento e o grau de deterioração de superfície. A avaliação subjetiva (PSR) não foi feita na pesquisa LTPP, de modo que o segundo aspecto foi avaliado apenas através da correlação com o Índice de Defeitos de Superfície (IDS), parâmetro definido como o IGG em DNER PRO-08/78.

A análise de dados da pesquisa LTPP confirma a validade do modelo:

$$IRI(N) = IRI_0 \exp(\alpha N) \quad [7]$$

como válido para descrever a forma da evolução da irregularidade, ao menos para as seções onde os dados abrangeram $\Delta IRI > 1$ m/km, onde:

IRI_0 = irregularidade do pavimento novo (m/km);

N = número acumulado de repetições do eixo padrão de 80 kN (milhões);

α = constante, função da estrutura do pavimento e das condições ambientais.

Admitindo que a forma funcional da relação PSI_{IRI} versus IRI seja aplicável também ao parâmetro mais geral PSI , ou seja:

$$PSI = \frac{5,0}{\exp\left(\frac{IRI}{A}\right)}$$

[8]

onde A é uma constante, pode-se escrever a fórmula [7] como:

$$A \ln\left(\frac{5}{PSI}\right) = A \ln\left(\frac{5}{PSI_0}\right) e^{\alpha N}$$

[9]

onde pode ser visto que o valor do parâmetro A não importa, pois é cancelado, levando a:

$$PSI(N) = 5 \left(\frac{PSI_0}{5}\right)^{\exp(\alpha N)}$$

[10]

Portanto, a formula [10] é um modelo que pode ser aplicado para efeito de descrever a evolução do parâmetro PSI com o tráfego acumulado N . Nesta fórmula, o parâmetro \square representa a velocidade com que ocorre a perda de serventia devido ao acúmulo de repetições das cargas de tráfego do eixo de 80 kN. O parâmetro \square seria, ainda, o responsável pela inclusão no modelo das características estruturais do pavimento. O modelo do guia da AASHTO (1986) inclui os efeitos da capacidade estrutural do pavimento através do parâmetro SN e MrsI, no caso dos pavimentos flexíveis, e a espessura da placa de concreto de cimento Portland e módulo de reação do subleito, para o caso dos pavimentos rígidos.

O modelo da AASHTO (1986), contudo, não é muito adequado para descrever a curva $PSI \times$ tempo, sendo possivelmente adequado para descrever o tráfego acumulado requerido para produzir uma queda global de serventia desde a condição de pavimento novo até aquela em que precisa ser restaurado ($\Delta PSI = PSI_0 - PSI_t$). Sendo assim, pode-se cogitar de utilizar a equação acima como modelo de previsão de desempenho, deixando a definição do parâmetro \square para o equações da AASHTO (1986). Quaisquer ajustes adicionais poderiam ser feitos através de um fator de calibração F_c da seguinte forma:

$$\alpha = F_c \times \alpha_A \quad [11]$$

onde \square_A é o valor de \square requerido pela fórmula geral do modelo quando aplicada ao modelo da AASHTO. Neste caso:

$$\alpha_A = -\frac{1}{W_{18}} \ln \left(\frac{\ln \left(\frac{PSI_0}{5} \right)}{\ln \left(\frac{2,5}{5} \right)} \right) \quad [12]$$

onde W_{18} é o tráfego acumulado requerido pelo modelo da AASHTO para $PSI = PSI_0 - PSI_t$, com $PSI_t = 2,5$. O valor de W_{18} é dado, de acordo com o Guia da AASHTO e no caso de pavimentos asfálticos, pela fórmula:

$$W_{18} = 10^{-6} \left[\frac{(SN + 1)}{1,05} \right]^{9,36} \left[\frac{PSI_0 - 2,5}{2,7} \right]^{\frac{1}{\beta}} \left[\frac{M_R}{3000 \text{ psi}} \right]^{2,32}$$

$$\beta = 0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}$$

[13]

No caso de pavimentos que já receberam algum recapeamento em CBUQ, o modelo é utilizado de forma diferente. Nesta situação, o maior interesse é o de determinar a expectativa de vida de serviço da camada de recapeamento que foi aplicada. O desempenho da estrutura global será condicionado pela natureza e espessura da camada de recapeamento, na medida em que um pavimento já restaurado tende a ter sido consolidado de forma significativa pelo tráfego que passou antes da restauração. O modelo acima é utilizado fazendo com que o número estrutural a ser considerado na fórmula seja dado pela própria camada de recapeamento ($SN = a_1 \times H_R / 2,54$). Desta forma, dois conjuntos distintos de fatores de calibração devem ser determinados, o primeiro referindo-se a pavimentos que nunca foram restaurados e o segundo dizendo respeito aos recapeamentos asfálticos.

Uma calibração preliminar do modelo pode ser feita aplicando-o aos dados de desempenho refletidos nos modelos de previsão de desempenho empíricos que são utilizados no HDM-III. A vantagem de se utilizar esses modelos está no fato de se referirem a pavimentos em serviço no Brasil. O problema em se aplicar esses modelos está em sua falta de acurácia no que diz respeito a descrever adequadamente os efeitos, para o desempenho, de variações nas espessuras das camadas do pavimento. Uma forma de minimizar esta deficiência é aplicar os modelos do HDM-III apenas para uma situação estrutural e de tráfego próxima do que seria uma “condição média” dos dados experimentais que foram utilizados para desenvolver os modelos.

No caso de pavimentos asfálticos que nunca foram restaurados, a seguinte condição pode ser indicada como atendendo a esse critério:

$h_1 = 8$ cm em CBUQ

$h_2 = 15$ cm em Brita Graduada

$h_3 = 27$ cm de sub-base em Solo-Estabilizado Granulometricamente

$N_{ano} = 3,0 \times 10^5$ repetições anuais do eixo-padrão de 8,2 tf (AASHTO)

SN = 3,38

Solo de subleito com $M_R = 700 \text{ kgf/cm}^2$ (CBR = 7)

SNC = 4,31

$D_0 = 62,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (sob o eixo de 8,2 tf)

A Tabela 3.1 e a Figura 3.1 mostram que, para essas condições, um Fator de Calibração $F_C = 2,5$ leva o modelo $PSI = f(N)$ a reproduzir o desempenho previsto pelo HDM-III, até a idade de 15 anos do pavimento. A partir daí, os modelos do HDM-III mostram uma inconsistência (PSI se estabilizando ao longo do tempo).

Tabela 3.1 – Calibração do modelo pelo HDM-III

Ano	PSI=f(N) modelo	PSI (HDM)	PSI (QI)	PSI (IDS)	IDS	TR (%)	ATR (mm)	P+R (%)	D (%)
0	4.735	4.735	4.500	4.971	0.3	0.5	0.000	0.00	0.00
1	4.682	4.685	4.449	4.921	0.9	0.5	0.418	0.00	0.00
2	4.618	4.654	4.398	4.910	1.0	0.5	0.508	0.00	0.00
3	4.543	4.625	4.346	4.903	1.1	0.5	0.569	0.00	0.00
4	4.453	4.595	4.293	4.898	1.1	0.5	0.617	0.00	0.00
5	4.347	4.566	4.239	4.893	1.2	0.5	0.657	0.00	0.00
6	4.222	4.495	4.184	4.805	2.2	1.4	0.692	0.52	0.00
7	4.076	4.173	4.129	4.217	10.0	9.8	0.722	3.37	0.00
8	3.906	3.833	4.073	3.594	20.7	22.6	0.751	6.22	0.00
9	3.710	3.522	4.016	3.028	33.5	38.7	0.776	9.07	0.00
10	3.487	3.153	3.958	2.348	55.3	57.3	0.800	11.92	25.00
11	3.235	2.958	3.900	2.016	70.1	74.1	0.821	14.77	30.25
12	2.955	2.811	3.841	1.782	83.0	87.7	0.841	17.62	36.00
13	2.648	2.701	3.781	1.621	93.4	97.2	0.859	20.47	42.25
14	2.320	2.631	3.721	1.541	99.2	99.5	0.877	23.32	49.00
15	1.977	2.571	3.660	1.482	103.7	99.5	0.893	26.17	56.25
16	1.630	2.512	3.598	1.425	108.3	99.5	0.908	29.02	64.00
17	1.291	2.453	3.536	1.370	113.1	99.5	0.923	31.87	72.25
18	0.974	2.394	3.473	1.315	118.0	99.5	0.937	34.72	81.00
19	0.693	2.336	3.410	1.262	123.1	99.5	0.950	37.57	90.25
20	0.459	2.279	3.347	1.211	128.3	99.5	0.962	40.42	100.00

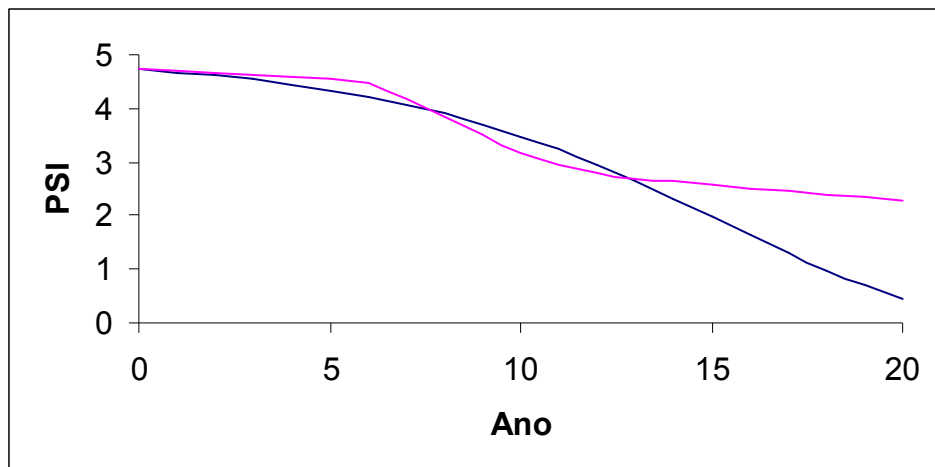


Figura 3.1 – Calibração do modelo pelo HDM-III

No caso de recapeamento em CBUQ, foram adotadas as seguintes condições:

$H_R = 8$ cm em CBUQ

$D_C = 60 \times 10^{-2}$ mm (deflexão de campo do pavimento antigo)

CBR = 7 (solo de subleito)

SNC = 5,91 (pavimento restaurado)

$PCR_4 = 48\%$ (percentagem de área trincada do pavimento antigo)

$N_{ano} = 3,85 \times 10^5$ (tráfego anual em termos do eixo de 8,2 tf pela AASHTO)

Para um Fator de Calibração $F_C = 0,10$ obtêm-se os resultados mostrados na Tabela 3.2 e na Figura 3.2, onde se observa a concordância entre o desempenho previsto pelos dois modelos.

Tabela 3.2 – Calibração do modelo para recapeamento pelo HDM-III

Ano	PSI=f(N) modelo	PSI (HDM)	PSI (QI)	PSI (IDS)	IDS	TR (%)	ATR (mm)	P+R (%)	D (%)
0	4.300	4.300	3.601	5.000	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00
1	4.225	4.280	3.571	4.989	0.1	0.00	0.095	0.00	0.00
2	4.142	4.252	3.540	4.963	0.4	0.00	0.308	0.00	0.00
3	4.052	4.218	3.509	4.927	0.8	0.00	0.614	0.00	0.00
4	3.953	4.180	3.478	4.881	1.3	0.00	1.001	0.00	0.00
5	3.846	4.025	3.447	4.604	4.7	3.08	1.463	0.92	0.00
6	3.729	3.774	3.415	4.134	11.3	9.68	1.998	2.90	0.00
7	3.603	3.559	3.382	3.736	18.0	16.28	2.601	4.88	0.00
8	3.467	3.373	3.349	3.396	24.7	22.88	3.270	6.86	0.00
9	3.322	3.209	3.316	3.102	31.6	29.48	4.004	8.84	0.00
10	3.166	2.943	3.283	2.604	46.0	36.08	4.801	10.82	25.00
11	3.001	2.808	3.249	2.366	54.6	42.68	5.660	12.80	30.25
12	2.827	2.686	3.215	2.156	63.4	49.28	6.581	14.78	36.00
13	2.644	2.575	3.180	1.969	72.5	55.88	7.562	16.76	42.25

14	2.453	2.474	3.145	1.802	81.8	62.48	8.603	18.74	49.00
15	2.257	2.381	3.110	1.652	91.3	69.08	9.705	20.72	56.25
16	2.056	2.295	3.074	1.516	101.0	75.68	10.865	22.70	64.00
17	1.852	2.216	3.038	1.393	111.0	82.28	12.085	24.68	72.25
18	1.649	2.142	3.002	1.281	121.2	88.88	13.365	26.66	81.00
19	1.447	2.072	2.966	1.179	131.7	95.48	14.703	28.64	90.25
20	1.252	2.013	2.929	1.097	140.9	100.00	16.088	30.62	100.00

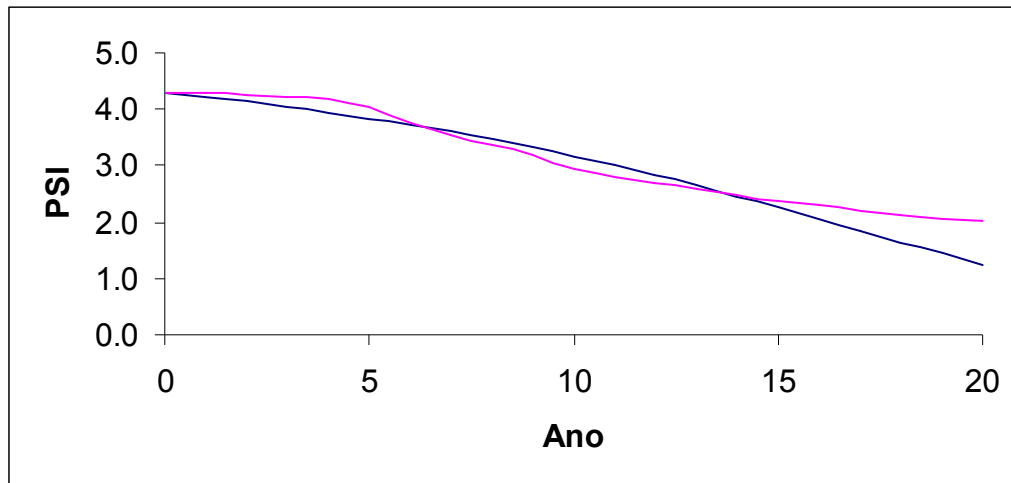


Figura 3.2 – Calibração do modelo para recapeamento pelo HDM-III

Em seguida, o modelo de previsão de desempenho é aplicado a cada ano do período de análise na sua forma diferencial:

$$\delta PSI = \alpha \times \delta N \times PSI \times \ln\left(\frac{PSI}{5}\right) \quad [14]$$

obtida derivando a função correspondente. Nesta fórmula, PSI representa a condição atual, que será alterada para: $PSI^* = PSI + \delta PSI$ após um ano. Isto significa que o tráfego responsável pela variação de PSI para PSI^* é o tráfego atuante durante um ano, ou seja, que: $\delta N = N_{ano}$.

3.2 – Dimensionamento Estrutural do Pavimento Restaurado

Quando o sistema aplica uma camada asfáltica de recapeamento ao pavimento existente, a utilização do modelo para previsão do desempenho do pavimento restaurado requer a determinação do módulo de elasticidade efetivo equivalente (E) do pavimento subjacente à

camada de recapeamento. Neste caso, como se dispõe da deflexão do pavimento existente D_C (antes do recapeamento), aplica-se a fórmula da teoria da elasticidade:

$$E = 2(1 - \nu^2) \frac{pa}{D_C}$$

[15]

onde é utilizado o valor $\nu = 0,33$ para o coeficiente de Poisson médio do pavimento.

3.3 – Priorização das Restaurações

Tendo em vista possibilitar obter uma uniformização das intervenções de restauração ao longo dos cinco anos do período de análise, evitando concentrar os aportes de capital mais significativos em um determinado ano, foi aqui utilizado um Índice de Prioridade, IP, para cada Subtrecho Homogêneo. O parâmetro IP foi definido como um número que varia entre 0 e 100, tendo uma variação linear com o custo operacional dos veículos que é gerado em cada Subtrecho Homogêneo. Atribuiu-se IP = 0 para o valor mínimo do custo operacional dentre os valores calculados em todos os subtrechos do Lote 01, ao passo que IP = 100 foi atribuído ao custo operacional de valor máximo.

O custo operacional dos veículos foi calculado através do programa HDM-III do Banco Mundial, em função da irregularidade longitudinal e fixando-se os demais parâmetros que o afetam, em particular:

- Geometria vertical ("rise plus fall") = 30 m/km
- Geometria horizontal ("horizontal curvature") = 50 graus/km
- Composição do tráfego:
 - Automóveis e veículos leves = 72 %
 - Ônibus = 7 %
 - Caminhão Leve = 4 %
 - Caminhão Médio = 10 %
 - Caminhão Pesado = 3 %
 - Caminhão Articulado = 4 %

A Figura 3.3 mostra os resultados obtidos a partir da análise de diversas seções de pavimentos, em termos do custo operacional dos veículos (em milhões de R\$ por 1000 veículos por ano em um segmento com 10 km de extensão) em função da irregularidade do pavimento. O resultado foi a função:

$$Custo = 1,009127 + 3,111022 \times 10^{-3} QI + 1,00024 \times 10^{-5} QI^2$$

[16]

3.4 – Medidas de Manutenção

As intervenções nos pavimentos podem ser programadas no *software* SGM através dos parâmetros que são mostrados na tela da Figura 3.4.

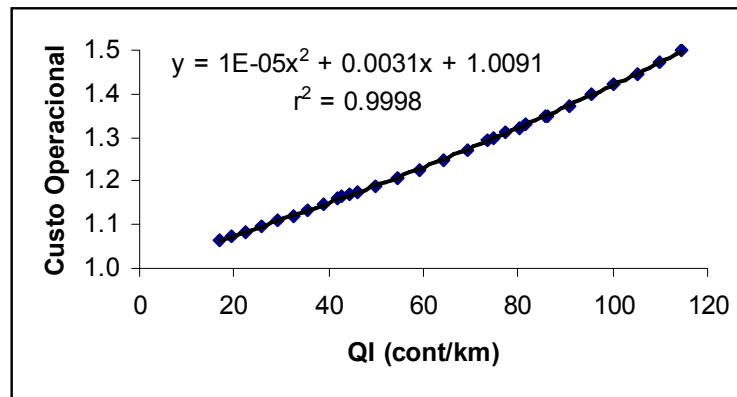


Figura 3.3 - Variação do custo operacional dos veículos (HDM-III)

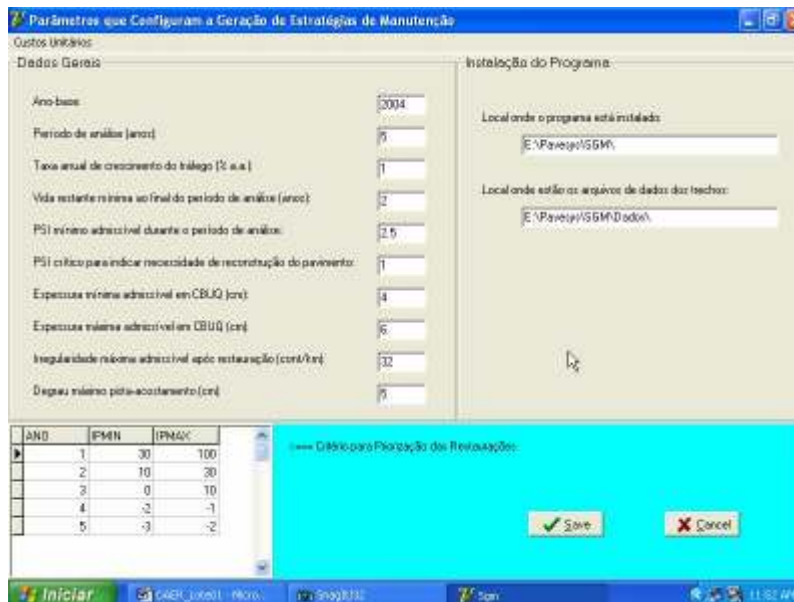


Figura 3.4 – Parâmetros que configuram a estratégia no programa SGM

As restaurações acontecem sempre que ocorre $PSI \leq PSI_t$ e se o Índice de Prioridade do subtrecho se encontra dentro da faixa de valores de IP que foi especificada para aquele ano. Como indicado na tela acima, para o Ano 1 foi adotada uma faixa de valores de IP acima do máximo possível (100), no intuito de forçar a que naquele ano sejam executados apenas reparos emergenciais em todo o Lote 01, deixando-se as restaurações para os anos seguintes. A justificativa dessa estratégia é priorizar as intervenções de maior relação

benefício-custo, como é o caso dos reparos em áreas localizadas em trechos bastante deteriorados ou da aplicação de reperfilagem em trechos que se encontram muito deformados.

Os códigos adotados para descrever as intervenções de manutenção foram:

- CR = Conserva Rotineira, definida como a alocação orçamentária que deve ser feita para intervenções corretivas em aspectos não diretamente relacionados ao pavimento. Envolve atividades como: desobstrução de saídas d'água, manutenção de dispositivos de drenagem, limpeza da pista e dos acostamentos, manutenção de taludes e de sistemas de escoramento, capina e roçada da vegetação no entorno da rodovia que esteja prejudicando a visibilidade em curvas e a visibilidade da sinalização vertical;
- RL = Reparos em Áreas Localizadas. Trata-se da execução de remendos, superficiais ou profundos, executados de forma convencional ou usando fresadoras de pequeno porte, para recomposição total ou parcial do pavimento em locais severamente danificados, seja pela existência de panelas ou pela presença de deformações plásticas, erosão do revestimento ou trincamento de alta severidade que estejam comprometendo a condição funcional ou estrutural do pavimento;
- Reperf. = Execução de reperfilagem com Massa Fina de CBUQ (espalhamento de camada com espessura média de 3 cm para se obter espessura média compactada de 2 cm);
- RS = Recapeamento Simples em CBUQ. Neste caso, a coluna com o título "HRj", onde "j" é o ano, indica a espessura a ser aplicada, em cm;
- FR+RC = Fresagem seguida por Recapeamento em CBUQ. A coluna com o título "Hfresj" mostra a espessura de fresagem, em cm, no ano "j";
- MF+RC = Recapeamento em CBUQ após Reperfilagem com Massa Fina de CBUQ. A coluna "HRj" mostra a espessura da camada de recapeamento em CBUQ, a ser aplicada após o espalhamento de cerca de 3 cm e compactação, a uma espessura média de 2 cm, de Massa Fina (diâmetro máximo de agregados = 3/8") de CBUQ;
- RRP = Remoção e Reconstrução Parcial do pavimento, envolvendo as camadas de base e de revestimento. A coluna "HRj" mostra a espessura do novo revestimento em CBUQ a ser construído no ano "j", enquanto que a coluna "Hfresj" mostra a espessura total das camadas a serem recompostas;
- RRT = Remoção e Reconstrução Total do pavimento. As colunas "HRj" e "Hfresj" têm o mesmo significado que na medida RRP. O pavimento é agora reconstruído desde o subleito, o qual é escarificado e recompactado antes da construção do novo pavimento.

Considerou-se aqui inapropriado indicar fresagem quando o revestimento era em PMF, devido à propensão de surgir desagregação severa do revestimento durante o corte, ocorrência que torna inviável as operações seguintes (limpeza da superfície por vassoura mecânica, pintura de ligação e recapeamento em CBUQ) sem uma séria intervenção envolvendo escarificação e recompactação do pavimento subjacente. Também foi excluída a possibilidade de fresagem quando o corte não permitisse uma espessura remanescente de revestimento de pelo menos 3 cm, como uma segurança contra a possibilidade de descompactação do topo da camada de base durante a operação de fresagem.

No que diz respeito às intervenções na pista de rolamento, a seqüência mostrada nas Figuras 3.5 a 3.9 apresenta a definição da medida mais apropriada a cada ano do período de

análise. Os acostamentos são restaurados apenas quando a pista de rolamento é restaurada, ocasião em que é observado o atendimento a um degrau máximo pista-acostamento de 5 cm.

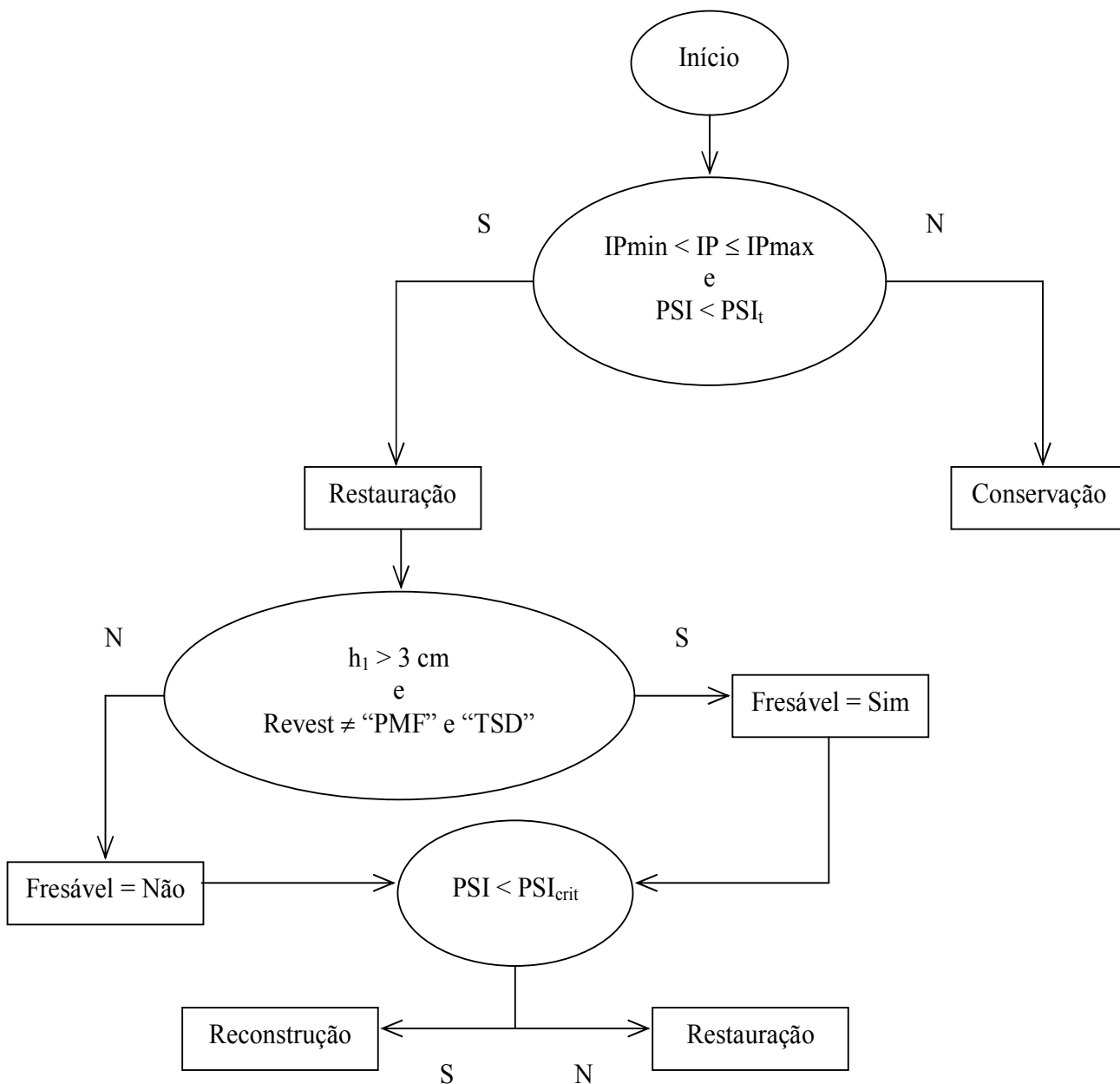


Figura 3.5 – Árvore de Decisão para as Intervenções no Pavimento

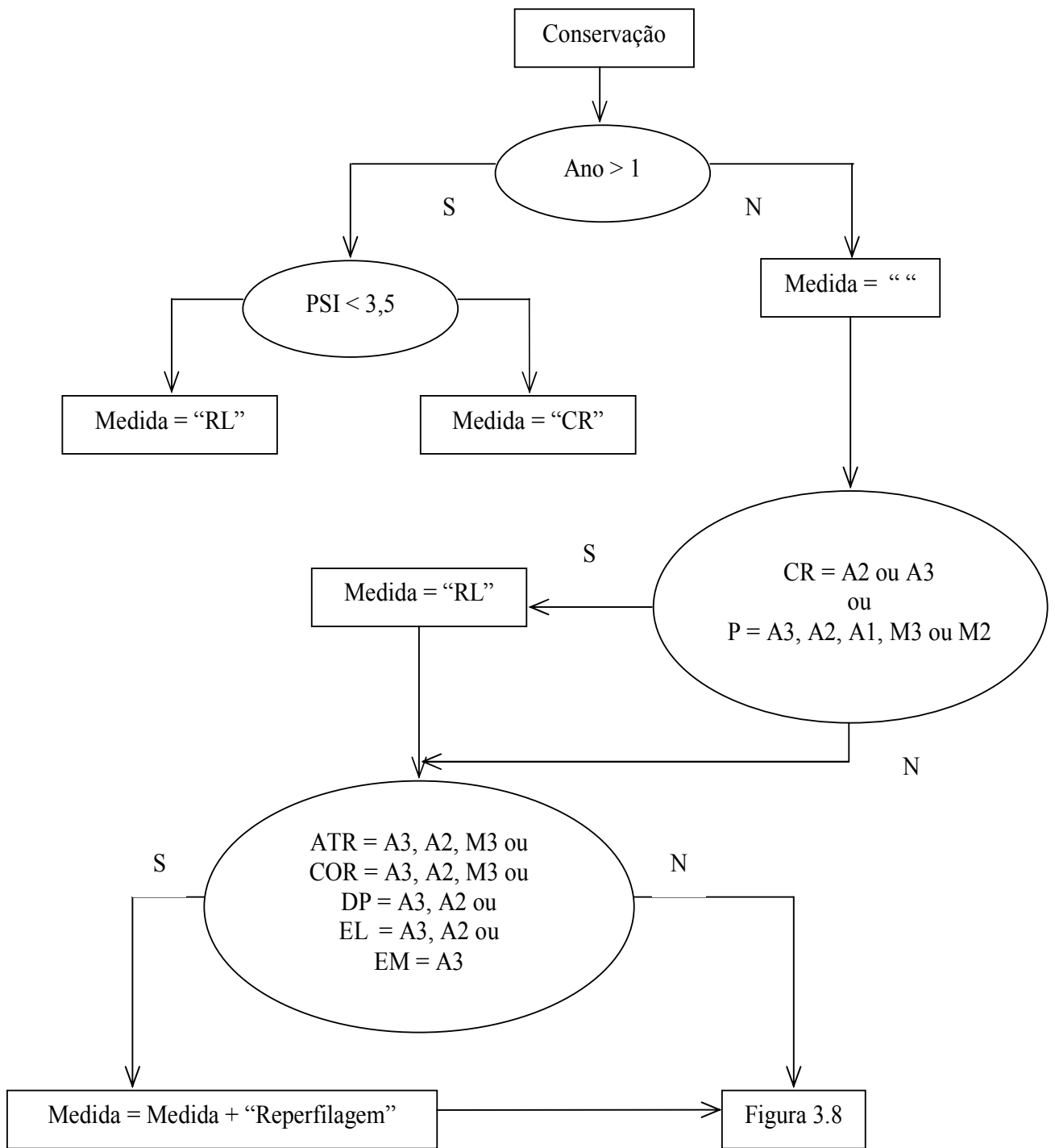


Figura 3.6 – Intervenções de Conservação

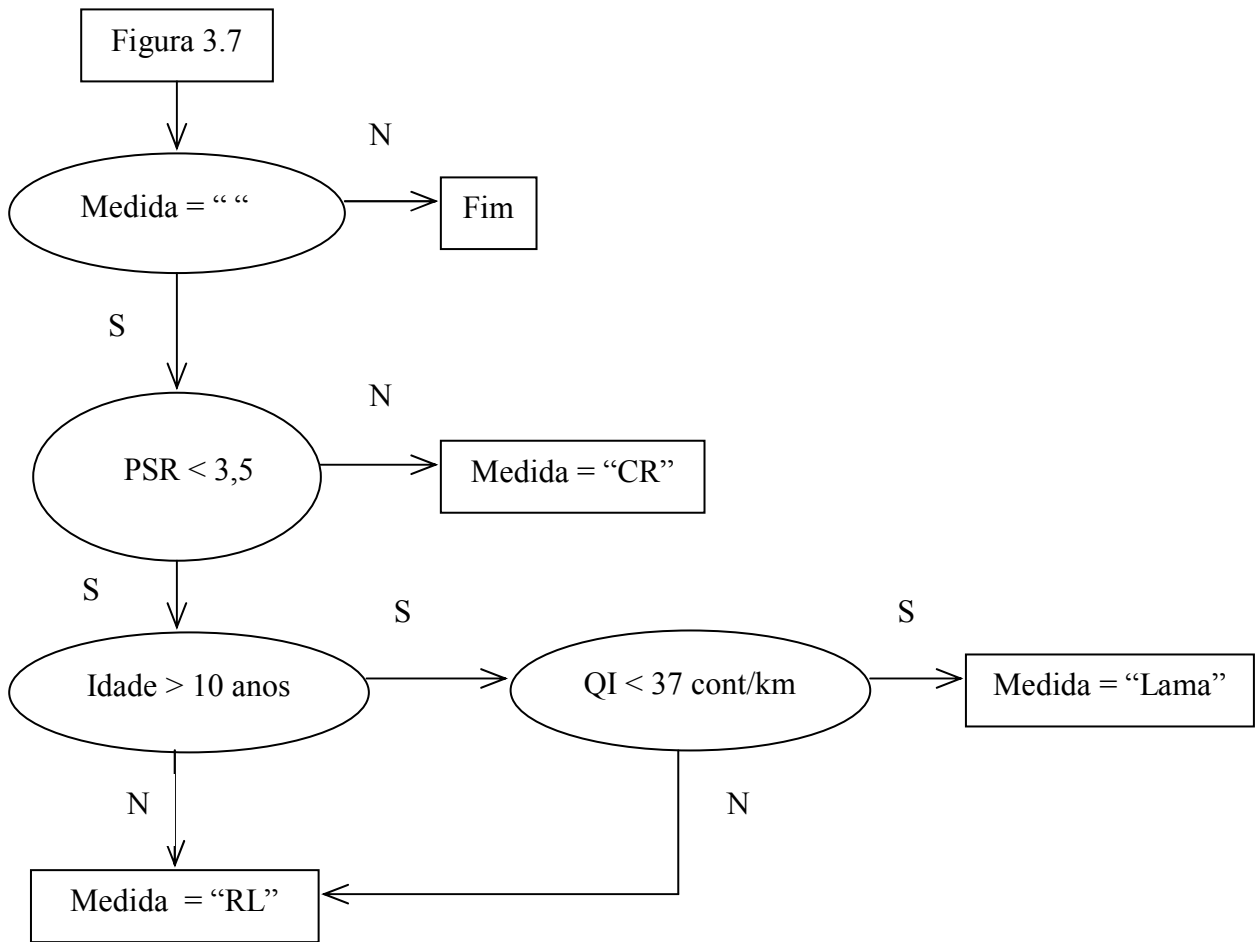


Figura 3.7 – Conservação (cont.)

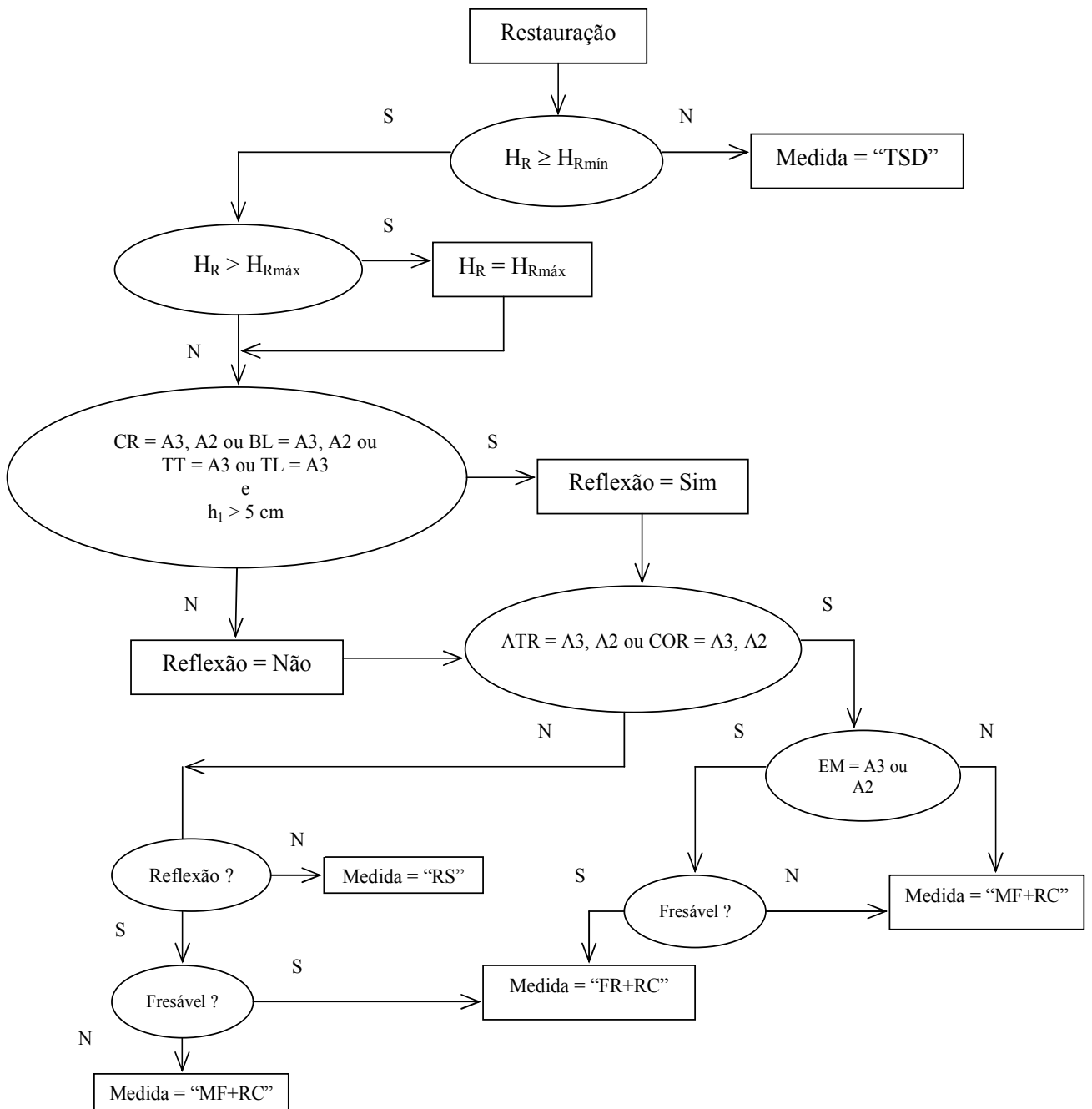


Figura 3.8 – Intervenções de Restauração

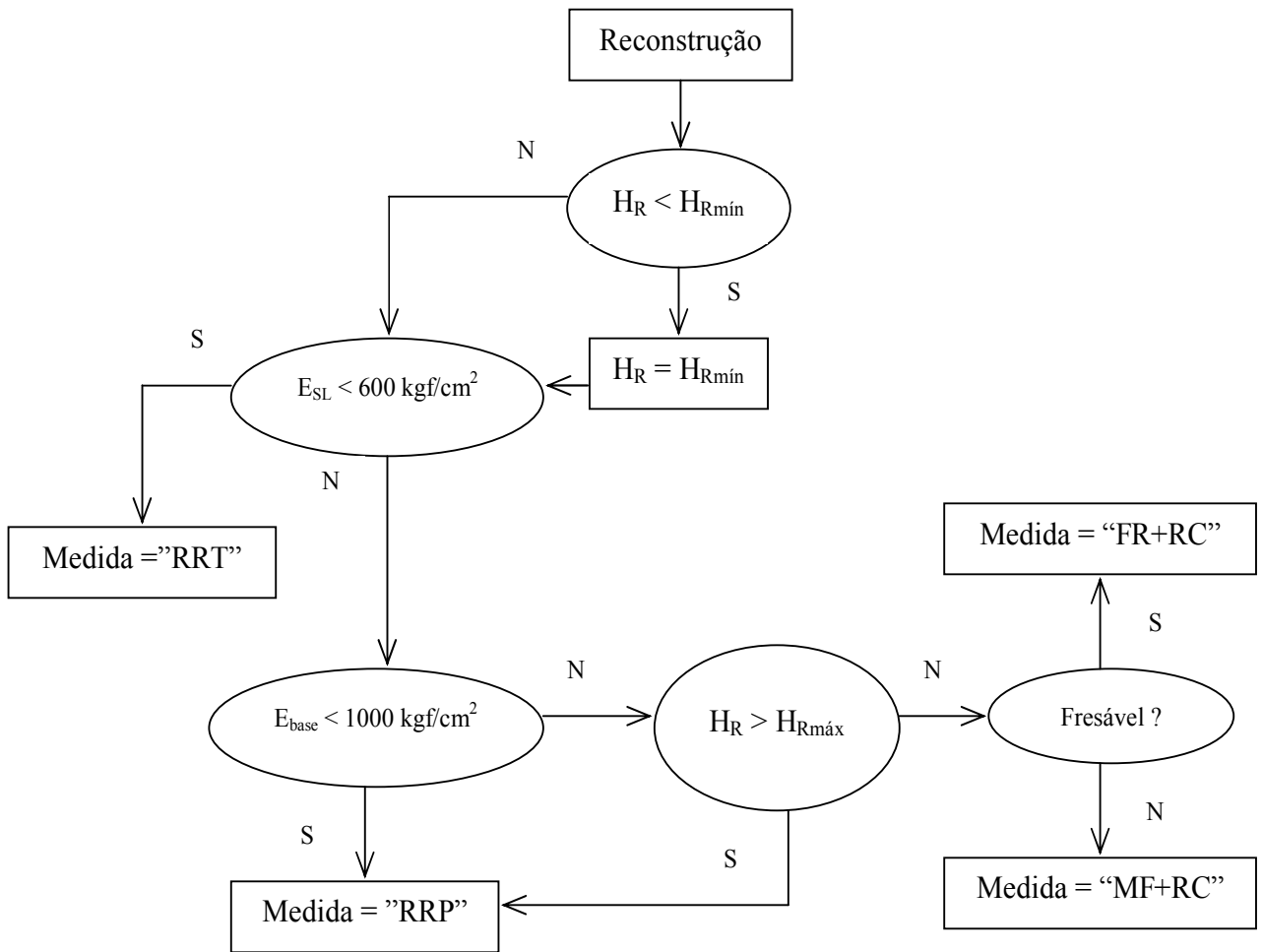
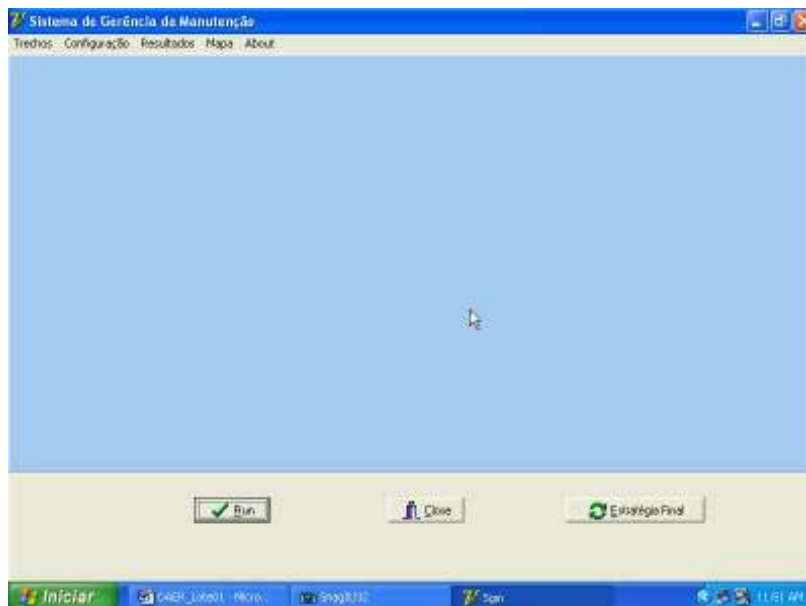


Figura 3.9 – Intervenções de Reconstrução

4 – O Programa SGM

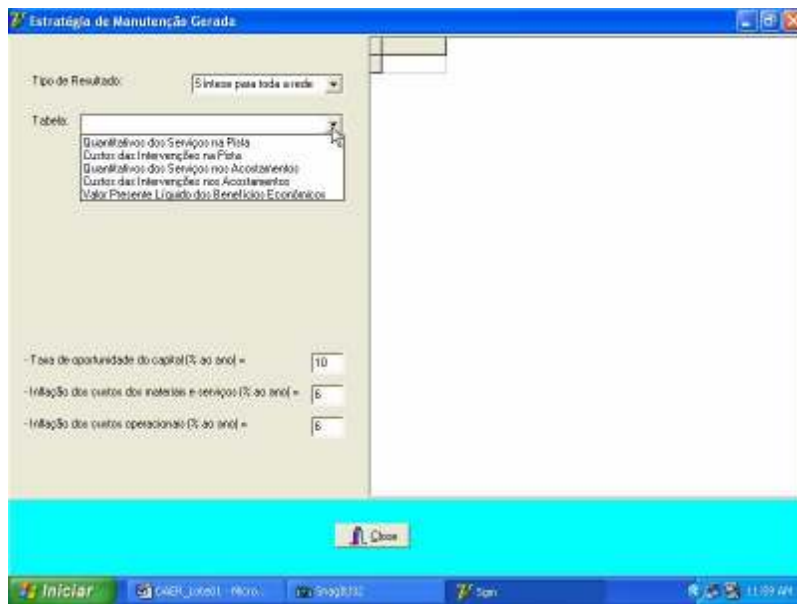
As figuras a seguir mostram as telas do programa SGM e as suas respectivas funções.



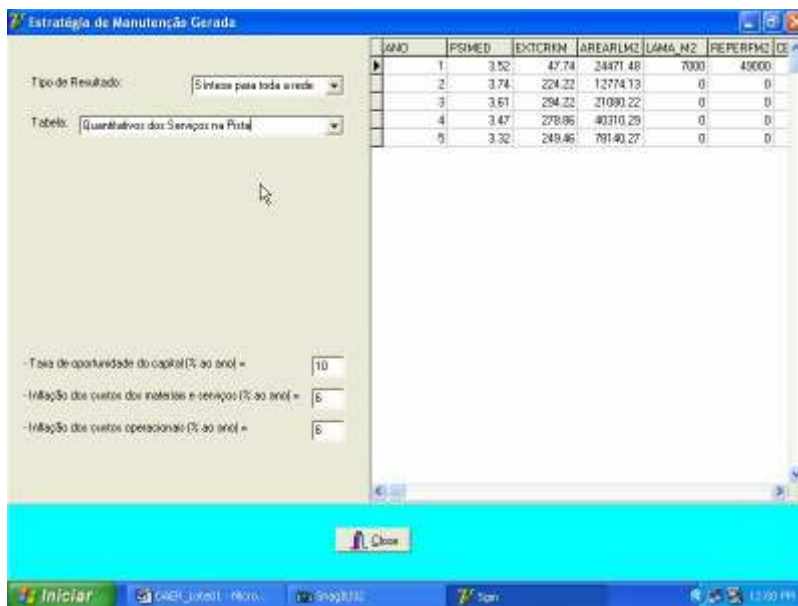
Tela inicial do programa SGM. Em “Run” a estratégia definida pelos parâmetros inseridos em “Configuração” é gerada. Em “Estratégia Final” esta estratégia pode ser alterada, em função da necessidade de se efetuar uma simplificação de soluções, por exemplo.



Tela onde são inseridas as informações que definem os trechos que compõem a rede, envolvendo os parâmetros: geometria das vias, estrutura do pavimento existente, tráfego atuante e idade da última camada aplicada.



Tela onde são apresentados os resultados obtidos para a estratégia que foi gerada, na forma de quantitativos dos serviços e custos de manutenção para toda a rede.



Síntese da rede ao longo do tempo (no caso, para um período de análise de 5 anos), envolvendo PSI médio da rede e quantitativos dos serviços.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado:

Tabela:

ANO	TOTAL, R\$	PSTA, R\$	CR, R\$	RL, R\$	REPERF.	DE
1	16795104	19469621	14549147	51659303	24352998	0
2	167679075	100911620	69332944	26966178	0	0
3	177474075	13416629	896659	4450039	0	0
4	21338755	170079838	94994925	85085013	0	0
5	284289875	240979095	76024938	164954113	0	0

- Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) =

- Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) =

- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) =

Close

Windows Taskbar: Iniciar, CAER_Conte... Micro..., SnagIt32, Sun, 12:00 PM

Custos das intervenções na rede ao longo do tempo (total e componentes).

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado:

Tabela:

ANO	BEL_ESTRAT	BEL_HOM
Ano 1	-15372749	-8869712
Ano 2	3400817	-11850499
Ano 3	3892022	317842
Ano 4	893042470	3738272
Ano 5	3904896	33266485
Ano 6	9067679	9327366
Ano 7	9907993	10274890
Ano 8	9838994	11322106
Ano 9	10870937	12479686
Ano 10	12015347	13799617
Ano 11	13284729	15179219
Ano 12	14693222	16741306
Ano 13	16299996	18474344
Ano 14	17992292	20392644
Ano 15	19320076	22516606
Ano 16	20618904	24868896
Ano 17	24441994	27474706
Ano 18	27087982	30362324
Ano 19	30030400	33562860
Ano 20	33303436	37111272
NPLbe =	67901184	67258920

- Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) =

- Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) =

- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) =

Close

Windows Taskbar: Iniciar, CAER_Conte... Micro..., SnagIt32, Sun, 12:01 PM

Valor presente líquido dos benefícios econômicos para a estratégia gerada e para a estratégia de referência proposta pelo BIRD.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TR01

Resultados:

- Condição Atual dos Pavimentos
- PSI ao Longo do Tempo
- Estratégia de Manutenção na Flota
- Quantitativos dos Serviços na Flota
- Estratégia de Manutenção nos Acostamentos
- Quantitativos dos Serviços nos Acostamentos
- Restauração e Prioridade
- Inflação dos materiais e serviços (% ao ano) = 6
- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	KM I	KM F	REVALUAT	PSRLOGO1	PSRLOG	IG
1	0	1	PMF	2,2	3,4	
2	1	2	PMF	2,4	3,5	
3	2	3	PMF	2,1	2,1	
4	3	4	PMF	2,4	3,3	
5	4	5	PMF	2,1	3,7	
6	5	6	PMF	2	2,9	
7	6	7	PMF	2,5	4,3	
8	7	8	PMF	2,5	4,4	
9	8	9	PMF	2,4	4,2	
10	9	10	PMF	3	4,6	
11	10	11	PMF	3	4,3	
12	11	12	PMF	2,8	4,6	
13	12	13	PMF	2,5	3,6	
14	13	14	PMF	2	2,5	
15	14	15	PMF	2,2	2,7	
16	15	16	PMF	2,1	2,6	
17	16	17	PMF	2,2	2,1	
18	17	18	PMF	2	2,4	
19	18	19	PMF	2	2,5	
20	19	20	PMF	2	2,6	
21	20	21	PMF	2,2	2,7	
22	21	22	PMF	2,1	2,1	
23	22	23	PMF	2,2	1,9	

Close

Iniciar CADER_Exec01 - Micro Snag3232 Sen 12:01 PM

Parâmetros por subtrecho homogêneo (condição atual dos pavimentos).

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TR01

Resultados:

- PSI ao Longo do Tempo
- Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10
- Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6
- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	PSI1	PSI2	PSI3	PSI4	PSI5
1	2,6	2,5	2,3	2,2	2
2	4,2	4	3,9	3,6	3,4
3	4,3	4,1	4	3,8	3,6
4	2,5	2,4	2,3	2,1	2
5	2,5	2,4	2,3	2,1	2
6	4,2	4	3,8	3,6	3,3
7	3	2,9	2,8	2,7	2,6
8	3,1	3	2,9	2,9	2,7
9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4
10	3,2	3,2	3,1	3	2,9
11	3,2	3,1	3,1	3	2,9
12	3,3	3,2	3,1	3,1	3
13	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
14	4,2	3,9	3,6	3,3	3
15	4,2	4,1	4	3,9	3,7
16	4,2	4,1	4	3,9	3,7
17	4,2	4,1	4	3,9	3,8
18	4,2	4,1	3,8	3,6	3,3
19	4,2	4,1	4	3,8	3,8
20	4,2	4,1	4	3,8	3,6
21	4,2	4,1	4	3,9	3,8
22	4,2	4	3,8	3,6	3,2
23	4,2	4	3,8	3,5	3,2
24	4,2	4,1	3,9	3,7	3,5

Close

Iniciar CADER_Exec01 - Micro Snag3232 Sen 12:01 PM

Evolução do PSI ao longo do tempo em cada subtrecho homogêneo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TP01

Resultado: PI ao Longo do Tempo

Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	IR1	IR2	IR3	IR4	IR5
1	3.685	3.799	3.916	4.037	4.161
2	3.186	2.173	2.231	2.29	2.351
3	2.73	2.004	2.057	2.111	2.166
4	3.911	4.017	4.127	4.239	4.354
5	4.064	4.177	4.294	4.414	4.538
6	3.147	2.157	2.213	2.271	2.33
7	3.389	3.499	3.612	3.728	3.847
8	3.045	3.13	3.218	3.308	3.401
9	3.701	3.803	3.907	4.013	4.123
10	3.176	3.278	3.382	3.489	3.599
11	2.904	2.994	3.088	3.184	3.282
12	2.786	2.876	2.969	3.064	3.162
13	2.958	3.048	3.134	3.225	3.319
14	2.17	2.023	2.106	2.19	2.278
15	3.064	2.13	2.191	2.233	2.287
16	2.816	2.033	2.084	2.137	2.19
17	3.065	2.122	2.172	2.224	2.277
18	2.746	2.05	2.101	2.153	2.207
19	3.353	2.227	2.279	2.331	2.385
20	2.989	2.101	2.155	2.21	2.266
21	2.886	2.057	2.107	2.159	2.212
22	2.82	2.079	2.131	2.185	2.24
23	2.945	2.124	2.176	2.23	2.285
24	3.032	2.153	2.203	2.255	2.308

Close

Iniciar GABR_Lopez - Inicio SnagS32 Sun 12:01 PM

Evolução da irregularidade longitudinal em cada subtrecho homogêneo ao longo do tempo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TP01

Resultado: Estratégia de Manutenção na Pista

Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	MEDIDA1	HRT	HFRIST	MEDIDA2	HRS	HFR
1	RL	0	0	RL	0	0
2	RS	6	0	CR	0	0
3	RS	6	0	CR	0	0
4	RL	0	0	RL	0	0
5	RL	0	0	RL	0	0
6	RS	6	0	CR	0	0
7	RL	0	0	RL	0	0
8	RL	0	0	RL	0	0
9	RL	0	0	RL	0	0
10	CR	0	0	RL	0	0
11	CR	0	0	RL	0	0
12	CR	0	0	RL	0	0
13	RL	0	0	RL	0	0
14	LA	1,5	0	CR	0	0
15	RS	6	0	CR	0	0
16	RS	6	0	CR	0	0
17	RS	6	0	CR	0	0
18	RS	6	0	CR	0	0
19	RS	6	0	CR	0	0
20	RS	6	0	CR	0	0
21	RS	6	0	CR	0	0
22	RS	6	0	CR	0	0
23	RS	6	0	CR	0	0
24	RS	6	0	CR	0	0

Close

Iniciar GABR_Lopez - Inicio SnagS32 Sun 12:02 PM

Estratégia de manutenção na pista, em cada subtrecho homogêneo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TFS01

Resultado: Quantitativos dos Serviços na Pista

Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

Infração dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

Infração dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	ANO	EXTCRIM	AREARLQ2	REPERFQ2	CBUMQ3	FF
1	1	0	138.64	0	0	0
1	2	0	160.08	0	0	0
1	3	0	216.08	0	0	0
1	4	0	273.75	0	0	0
1	5	0	332.91	0	0	0
2	1	0	0	0	420	0
2	2	1	0	0	0	0
2	3	1	0	0	0	0
2	4	1	0	0	0	0
2	5	0	42.45	0	0	0
3	1	0	0	0	420	0
3	2	1	0	0	0	0
3	3	1	0	0	0	0
3	4	1	0	0	0	0
3	5	1	0	0	0	0
4	1	0	136.9	0	0	0
4	2	0	186.87	0	0	0
4	3	0	244.89	0	0	0
4	4	0	304.54	0	0	0
4	5	0	480.05	0	0	0
5	1	0	134.27	0	0	0
5	2	0	178.34	0	0	0
5	3	0	235.72	0	0	0

Close

Iniciar | SAERC_Exec01 - Novo... | 2009/03/30 | Sign | 12:02 PM

Discriminação dos quantitativos dos serviços na pista em cada subtrecho homogêneo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TFS01

Resultado: Estratégia de Manutenção nos Acostamentos

Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

Infração dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

Infração dos custos operacionais (% ao ano) = 6

ANO	STH	MEDIDA1	HRT	HFREST	MEDIDA2	HR2
1	1	RL	0	0	PL	0
2	1	RL	0	0	PL	0
3	1	RL	0	0	PL	0
4	1	RL	0	0	PL	0
5	1	RL	0	0	PL	0
1	2	ESC+TSS	1.5	15	ESC+TSS	0
2	2	CR	0	0	CR	0
3	2	CR	0	0	CR	0
4	2	CR	0	0	CR	0
5	2	CR	0	0	CR	0
1	3	ESC+TSS	1.5	15	ESC+TSS	0
2	3	CR	0	0	CR	0
3	3	CR	0	0	CR	0
4	3	CR	0	0	CR	0
5	3	CR	0	0	CR	0
1	4	RL	0	0	PL	0
2	4	RL	0	0	PL	0
3	4	RL	0	0	PL	0
4	4	RL	0	0	PL	0
5	4	RL	0	0	PL	0
1	5	RL	0	0	PL	0
2	5	RL	0	0	PL	0
3	5	RL	0	0	PL	0

Close

Iniciar | SAERC_Exec01 - Novo... | 2009/03/30 | Sign | 12:02 PM

Estratégia de manutenção nos acostamentos, em cada subtrecho homogêneo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TR01

Resultados: Quantitativos dos Serviços nos Acostamentos

- Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

- Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	ANO	GREAPLN2	PMQMS	REMOCADMS	BASEMO
1	1	33.33	0	0	0
1	2	33.33	0	0	0
1	3	33.33	0	0	0
1	4	33.33	0	0	0
1	5	33.33	0	0	0
2	1	0	0	500	270
2	2	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0
2	4	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0
3	1	0	0	300	270
3	2	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0
3	4	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0
4	1	33.33	0	0	0
4	2	33.33	0	0	0
4	3	33.33	0	0	0
4	4	33.33	0	0	0
4	5	33.33	0	0	0
5	1	133.33	0	0	0
5	2	133.33	0	0	0
5	3	133.33	0	0	0

Disc

Iniciar | CABR... | SnagS32 | Sun | 13:02 PM

Quantitativos dos serviços nos acostamentos, em cada subtrecho homogêneo.

Estratégia de Manutenção Gerada

Tipo de Resultado: Parâmetros por trecho

Trecho: TR01

Resultados: Restaurações e Prioridades

- Taxa de oportunidade do capital (% ao ano) = 10

- Inflação dos custos dos materiais e serviços (% ao ano) = 6

- Inflação dos custos operacionais (% ao ano) = 6

STH	KM	ENF	VDM	PI	SOLUCAD	HR
1	0	1	1288	3574		
2	1	2	1288	4.128 RS		
3	2	3	1288	3.399 RS		
4	3	4	1288	3.007 RS		
5	4	5	1288	3.953 RS		
6	5	6	1288	4.069 RS		
7	6	7	1288	3.282 RS		
8	7	8	1288	2.961 RS		
9	8	9	1288	3.603 RS		
10	9	10	1288	3.078 RS		
11	10	11	1288	2.819 RS		
12	11	12	1288	2.699 RS		
13	12	13	1288	2.974 RS		
14	13	14	1288	2.32 LA		
15	14	15	1288	3.882 RS		
16	15	16	1288	3.544 RS		
17	16	17	1288	3.803 RS		
18	17	18	1288	3.399 RS		
19	18	19	1288	4.419 RS		
20	19	20	1288	3.836 RS		
21	20	21	1288	3.661 RS		
22	21	22	1288	3.515 RS		
23	22	23	1288	3.719 RS		

Disc

Iniciar | CABR... | SnagS32 | Sun | 13:02 PM

Indicação das obras de restauração previstas (o quê, quando e onde) e de parâmetros-chave dos subtrechos onde as obras são apontadas (tráfego e prioridade).

Referências

- AASHTO (1986). The AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- DNER - Normas, Procedimentos e Especificações. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- Paterson, W.D.O. (1987). Road Deterioration and Maintenance Effects - models for planning and management. The World Bank, Washington, DC.
- Pereira, A.M. (1979). "Considerações sobre o procedimento de avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos normalizado pelo DNER. Fundamentos metodológicos. Algumas modificações possíveis". Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço, Anexos, Rio de Janeiro, 9 a 14 de setembro, ABPv.
- Shahin, M.Y. (1994). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Chapman & Hall, New York.
- SHRP-LTPP (1990). Data Collection Guide for Long-Term Pavement Performance Studies. Operational Guide No. SHRP-LTPP-OG-001. National Research Council, Washington, DC.
- The World Bank (1987). Description of the HDM-III Model. Volume I. Washington, DC.