

Manual de Ajuda
Programa BackMeDiNa
versão 1.3.0

APRESENTAÇÃO

O programa BackMeDiNa realiza a retroanálise dos módulos de resiliência das camadas de um pavimento a partir das bacias deflectométricas levantadas em campo por equipamentos do tipo FWD.

Histórico de versões

1.1.0	Versão inicial publicada em abril de 2018	
1.2.0	Atualização publicada em junho de 2020	Lista de modificações
1.3.0	Atualização publicada em fevereiro de 2023	Lista de modificações

desenvolvido por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D.C.

Agradecimentos:

A todos que mandaram críticas e sugestões no aprimoramento do BackMeDiNa, em especial, aos amigos:

Professora Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.

Marcos Fritzen, D.Sc.

Carlos Filipe Correia e Silva, M.Sc.

Atualizações do programa

Versão 1.2.0

Alterações em relação a versão anterior 1.1.0

1. O valor da carga aplicada pelo equipamento FWD no ensaio é apresentado com duas casas decimais.
2. Implementada a opção de excluir uma medição de FWD da lista de bacias.
3. O cálculo do erro quadrático médio (RMSE) foi alterado para gerar resultados em percentuais, seguindo o padrão de outros programas de retroanálise.
4. O processo de cálculo de retroanálise foi automatizado para convergir na melhor bacia com apenas um clique no botão -Retroanalisar-.
5. Implementada função para realizar a retroanálise automática de todas as medições de FWD da lista de bacias.
6. Implementada função para realizar a retroanálise automática das bacias da lista que ainda não foram retroanalísadas.
7. Atualizado o arquivo da Ajuda.

Atualizações do programa

Versão 1.3.0

Alterações em relação a versão anterior 1.2.0

1. Correção da unidade do erro RMS na planilha de resultados do Excel. Alterada para % .
2. Valor do erro RMS apresentado de forma igual, tanto na tela do programa, quanto na planilha de resultados do Excel.
3. Implementadas rotinas de verificação do arquivo de importação de bacias, a fim de evitar erros do programa.
4. Atualizado o arquivo da Ajuda.

PROGRAMA

O BackMeDiNa é um programa de computador criado para auxiliar na retroanálise de bacias deflectométricas obtidas com o FWD, desenvolvido para uso como um componente nos programas MeDiNa e AEMC.

O cálculo para se achar os Módulos de Resiliência é feito de forma iterativa, utilizando o módulo AEMC para a análise elástica linear, a partir da variação dos valores dos módulos em torno de um valor central, até se obter uma bacia teórica mais próxima da bacia de deflexões de campo medida pelo FWD. Para isso, o programa compara a raiz do valor quadrático médio das diferenças entre as medidas de deflexões de campo e as calculadas.

As hipóteses fundamentais da solução computacional baseiam-se nas mesmas consideradas pelo AEMC na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, quais sejam:

1. os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
2. a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
4. todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
5. a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
6. na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
7. a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
8. a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
9. as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

Os métodos que utilizam esta solução possuem a vantagem de combinar carregamentos com mais de uma roda, por meio do princípio da superposição e da hipótese de elasticidade linear. É possível também obter os resultados de tensão, deformação e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura sem a necessidade de dividir o meio contínuo em Elementos Finitos.

O conjunto básico de respostas estruturais que é calculada, a partir das equações elásticas, englobam: tensões verticais; tensões radiais; tensões tangenciais; tensões de cisalhamento no plano vertical-radial; e deflexões verticais e radiais.

INTERFACE

A interface com o usuário do BackMeDiNa busca reunir em uma tela apenas todas as informações divididas em quatro Quadros referentes à lista de bacias, dados da bacia selecionada, estrutura do pavimento e o gráfico do formato da bacia medida (em vermelho) com a calculada (em azul).

Quando o programa inicia, todos os quadros estão vazios. Existe, no topo, uma Barra de MENU Principal com a opção PROJETO com as funções principais do programa a opção AJUDA, que abre a janela com este Manual do Programa, e uma Barra de Status na base da janela, que apresenta informações simples. Cada uma das opções e dos Quadros serão detalhados individualmente neste documento.

BackMeDiNa v.1.2.0 (julho/2020) — □ ×

Projeto Ajuda

Patio SBFN

BACIA	ESTACA	FAIXA	TRILHA
2	Estaca: 170 + ...		
4	Estaca: 0 + 15m		
5	Estaca: 80 + 70m		
6	Estaca: 120 + ...		
9	Estaca: 0 + 70m		
11	Estaca: 160 + ...		
15	Estaca: 120 + ...		
16	Estaca: 140 + ...		
17	Estaca: 140 + ...		
18	Estaca: 100 + ...		
19	Estaca: 0 + 30m		
20	Estaca: 20 + 45m		
22	Estaca: 80 + 30m		
24	Estaca: 180 + 3m		
26	Estaca: 160 + 3m		
27	Estaca: 60 + 15m		

Estaca: 180 + 3m		Faixa:		Trilha:					02/2020 17
CARGA (kgf):	7909,76						T AR:	25	°C
RAIO (cm):	15						T PAV:	38	°C
SENSORES:	0	1	2	3	4	5	6	7	8
DISTÂNCIA (cm):	0	20	30	45	60	90	120		
DEFLEXÕES (µm):	1044	686	498	334	227	136	100		
CALCULADAS (µm):	1029	697	507	325	225	137	100		
DIFERENÇAS (µm):	15	-11	-9	9	2	-1	0		
ERRO (%):	1,5%								

ESTRUTURA >> RETROANALISAR RETROANALISAR TODAS >>

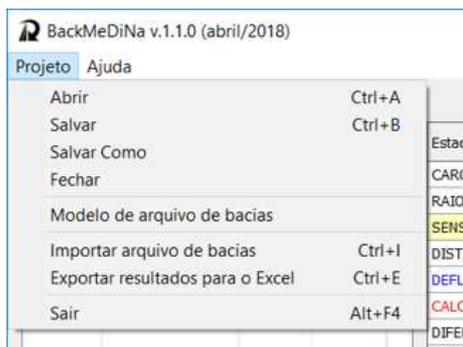
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	Camadas Asfálticas	10,0	2271	0,30	ADERIDO
2	Camadas Granulares	60	145	0,40	ADERIDO
3	Subleito	0	170	0,45	-

DEFLEXÕES NORMALIZADAS

distância (cm)

C:\Users\filip\Documents\figuras.bac 0h 8m 13,3s

Menu PROJETO



As opções do menu PROJETO na janela principal do programa permitem o usuário manipular os arquivos de dados da seguinte forma:

<Abrir>

Abre um arquivo existente com a extensão própria do programa BackMeDiNa: <nome_do_arquivo.bac>.

Dica: Tecla de atalho: Ctrl+A

<Salvar>

Salva as informações inseridas e geradas automaticamente pelo programa (estrutura, bacias e resultados) em um arquivo de formato padrão e com a extensão <nome_do_arquivo.bac>.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

Dica: Tecla de atalho: Ctrl+B

<Salvar como>

Permite salvar o arquivo com outro nome.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

<Fechar>

Para fechar o arquivo, limpar todos os dados e voltar à condição inicial do programa.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

<Modelo de arquivo de bacias>

Abre o arquivo de modelo de bacias em uma planilha eletrônica, no formato (.csv) para o projetista preencher e depois importar para o programa.

<Importa arquivo de bacias>

Importa o arquivo de bacias, no formato (.csv), elaborado pelo projetista e libera o programa para os cálculos.

Dica: O arquivo de bacias (.csv) deve estar fechado para não gerar erro pelo BackMeDiNa

Dica: Tecla de atalho: Ctrl+I

<Exporta resultados para o Excel>

Exporta os resultados de obtidos pelo projetista de todas as bacias para uma planilha eletrônica, por meio de um arquivo de formato (.csv). Os dados são organizados por bacias, os quais poderão ser manipulados facilmente nas Planilhas. Caso seja bem sucedido o comando, a planilha eletrônica abrirá automaticamente com os dados exportados.

As bacias analisadas aparecerão com os dados calculados, o erro da análise e a estrutura do pavimento que gerou os resultados. Para as bacias não analisadas, apenas os dados do levantamento são exportados.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

Dica: Tecla de atalho: Ctrl+E

<Sair>

Para encerrar o programa.

UNIDADES

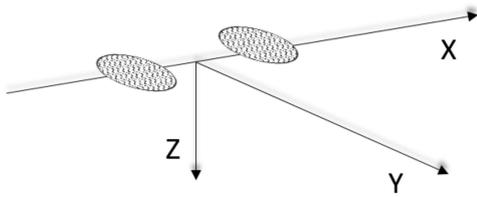
Para o perfeito funcionamento do programa, o projetista deverá atentar para o uso correto das unidades das grandezas físicas utilizadas no programa:

Grandeza	Unidade
Espessura e distâncias	cm
Raio do carregamento	cm
Deslocamentos	μm
Deformações específicas	m/m

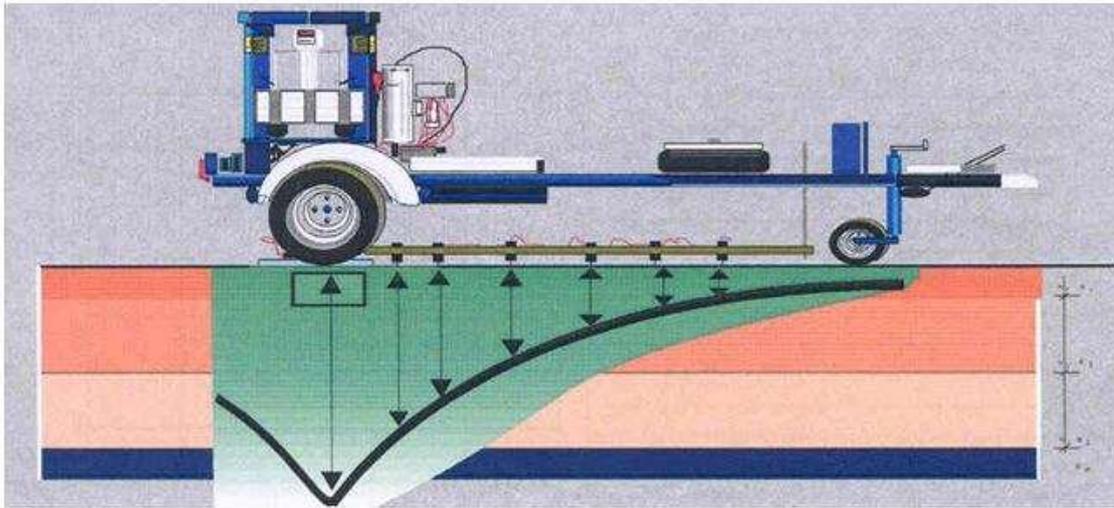
Área de contato	cm ²
Pressão de inflação e tensões	MPa
Carga aplicada pelo FWD	kgf
Temperatura	°C
Erro quadrático médio (RMS)	%

CONVENÇÕES

O sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa é o indicado na figura abaixo:



As coordenadas dos pontos em que são realizadas as análises devem estar ajustadas às posições dos sensores ou geofones do FWD. Isso deve ser realizado para permitir o cálculo dos deslocamentos de forma coerente. A Figura abaixo ilustra a posição dos sensores de um equipamento FWD.



fonte: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamento-dos-sistemas-de-transportes/fwd.jpg/view>

MODELO DE ARQUIVO DE BACIAS

Preenchendo o arquivo de bacias

Clique no Menu PROJETO e *Modelo de arquivo de bacias* que irá abrir uma planilha Excel, com extensão CSV. Preencha as colunas sem deixar espaços.

Ao concluir, salve a planilha Excel com o nome de sua preferência, mas no formato CSV (separado por vírgulas).

Identifique a planilha com as informações a seguir:

Linha 1

Sinaliza ao programa que o arquivo é do BackMeDiNa - módulo retroanálise. Não altere.

Linha 2

Informação: Insira o nome da Seção Homogênea para identificar os dados dos ensaios à seção.

Linha 3

Dado de entrada: Raio do carregamento aplicado pelo equipamento no pavimento.

Linha 4 em diante

Após a linha de título, insira até 100 bacias de ensaios do FWD. O ideal é que as bacias sejam relativas a uma mesma seção homogênea do pavimento.

Coluna 1

Informação: Data do ensaio.

Coluna 2

Informação: Temperatura do ar no instante do ensaio.

Coluna 3

Informação: Temperatura do pavimento no instante do ensaio.

Coluna 4

Dado de entrada: Carga aplicada no pavimento pelo golpe do FWD no ensaio.

Coluna 5

Informação: Estaca localizando o ponto do ensaio.

Coluna 6

Informação: Complemento da estaca em metros.

Coluna 7

Informação: Faixa do pavimento.

Coluna 8

Informação: Trilha do pavimento.

Coluna 9 a 17

Dados de entrada:

O número de sensores padrão é nove e o posicionamento inicial é: 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, identificados na linha de títulos com a letra d. dX, onde X é a distância do sensor em relação à aplicação da carga, que o programa irá ler e identificar a posição do sensor.

Assim, d0 é o sensor localizado a 0 cm do ponto de aplicação da carga, d20 a 20cm e assim por diante.

A quantidade de sensores pode ser alterada, bastando apagar as colunas dos sensores que não serão utilizadas.

A distância do posicionamento também poderá ser alterada, bastando alterar o valor após a letra d, por exemplo, se o sensor não estiver a 45cm, mas a 55cm, altere o valor de d45 na linha de título para d55.

CAMADAS

Somente após aberto um arquivo (.bac) ou após a importação de um arquivo de bacias (.csv) é possível alterar a estrutura.

O botão de Comando **ESTRUTURA >>** permite adicionar ou remover camadas no perfil do pavimento. São permitidas até seis camadas, sendo o mínimo de uma. Por questões de padronização, o subleito não pode ser excluído.

Inserindo camadas

Para inserir uma camada nova na estrutura do pavimento, o projetista deve selecionar a linha imediatamente acima da posição da futura camada. Clicar no botão de Comando **ESTRUTURA >>>** e selecionar a opção **Inserir uma camada abaixo**. O programa automaticamente irá abrir uma nova linha abaixo da camada selecionada e irá preencher com os dados da camada selecionada. Por padronização, o usuário não pode inserir uma camada abaixo do subleito.

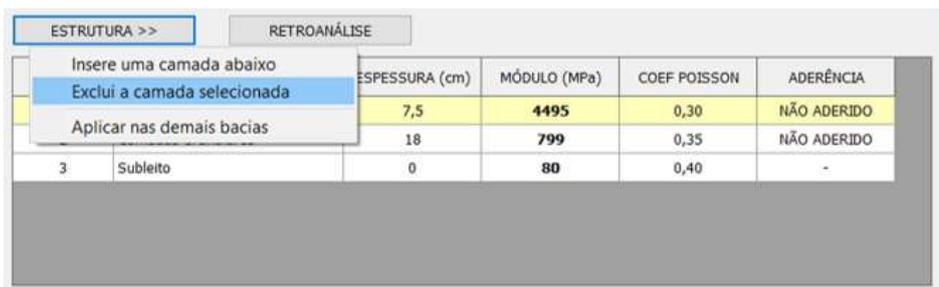
No caso do Subleito estar selecionado, a inserção da camada é acima.



		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
		7,5	4495	0,30	NÃO ADERIDO
		18	799	0,35	NÃO ADERIDO
3	Subleito	0	80	0,40	-

Excluindo camadas

Para excluir uma camada na estrutura do pavimento, o projetista deve selecionar a linha referente a camada que deseja excluir e clicar no botão de Comando **ESTRUTURA >>** e selecionar a opção **Excluir a camada selecionada**. Também por padronização, o subleito não poderá ser excluído.



		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
		7,5	4495	0,30	NÃO ADERIDO
		18	799	0,35	NÃO ADERIDO
3	Subleito	0	80	0,40	-

Aplicar nas demais bacias

Essa opção aplica a estrutura do pavimento da bacia em estudo em todas as demais bacias carregadas no programa e listadas no painel de bacias. Um cuidado deve ser tomado quando utilizar essa opção, pois ao confirmar, todas as estruturas antes atribuídas serão perdidas.

Dica: Carregue bacias de trechos homogêneos.



		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
		7,5	4495	0,30	NÃO ADERIDO
		18	799	0,35	NÃO ADERIDO
3	Subleito	0	80	0,40	-

CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA

O programa de cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, AEMC, faz uma modelagem física similar a teoria de molas a fim de permitir o movimento horizontal relativo na interface entre duas camadas. A mola atua na direção radial resistindo ao deslocamento relativo ao longo da interface entre duas camadas, conforme a seguinte lei:

$$\tau_i = k_i \cdot (u_i - u_{i+1})$$

Onde:

T_i é a tensão de cisalhamento radial entre as camadas i e $i+1$;

$U_i - U_{i+1}$ é o deslocamento radial relativo ao longo da interface das camadas i e $i+1$;

K_i é o módulo de rigidez da "mola" que resiste ao deslocamento radial relativo ao longo da interface.

O AEMC faz uma transformação na variável K , para facilitar o cálculo numérico. Ele utiliza um parâmetro adimensional, conforme a regra a seguir:

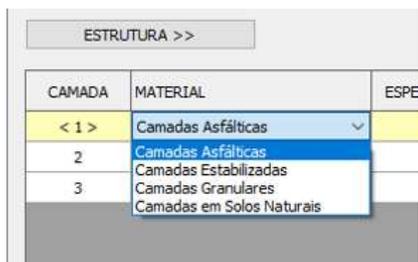
$$k_i = \frac{l_i}{1 - l_i}$$

Ao se atribuir o valor nulo para o parâmetro L_i , o valor de K_i será nulo e, portanto $T_i = 0$, o que significa que não haverá cisalhamento na interface, logo as camadas não estão aderidas.

Se, por outro lado, $L_i = 1$, tem-se K_i e T_i tendendo ao infinito, que significa que há aderência entre as camadas.

Assim, para simular a aderência entre camadas, o projetista deve entrar com **NÃO ADERIDO** (que corresponde a $L_i=0$) ou **ADERIDO** (que corresponde a $L_i=1$)

MATERIAIS



CAMADA	MATERIAL	ESPE
< 1 >	Camadas Asfálticas	
2	Camadas Asfálticas Camadas Estabilizadas Camadas Granulares Camadas em Solos Naturais	
3		

A definição dos materiais é apenas ilustrativo e serve para guiar o projetista nas retroanálises. Assim, os materiais foram divididos em grupos conforme descritos abaixo:

- Camadas Asfálticas
- Camadas Estabilizadas
- Camadas Granulares
- Camadas em Solos Naturais

Para selecionar um material diferente daquele apresentado basta selecionar a camada e clicar duas vezes com o mouse apontando para a coluna selecionada do material para ser alterado.

Ao acionar, o programa BackMeDiNa irá abrir uma caixa de opções de materiais conforme a lista acima. Entretanto, o Subleito não abre opção de materiais.

O projetista, ao selecionar uma das opções de materiais, será questionado pelo programa BackMeDiNa se realmente deseja alterar o tipo de material da camada. Após confirmar, o programa irá preencher os campos espessura, módulo, coeficiente de poisson e condição de aderência automaticamente. Entretanto, são valores de referência. O projetista pode alterar qualquer valor independente do material selecionado.

Para que a retroanálise possa ser reconhecida pelo programa MeDiNa, a condição de aderência entre camadas considerada no MeDiNa deverá ser respeitada nas retroanálises. As condições são pré-estabelecidas, com base nos seguintes critérios:

CAMADA	CONDIÇÃO
Camadas asfáltica sobre outra camada asfáltica	ADERIDO
Camada asfáltica sobre camadas estabilizadas	NÃO ADERIDO
Camada asfáltica sobre camadas de solos ou granulares	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre outra camada estabilizada	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre camadas de solos ou granulares	NÃO ADERIDO
Camada de solos ou granulares sobre camadas asfálticas, cimentadas, de solos ou granulares	NÃO ADERIDO

RETROANALISAR

O botão **RETROANALISAR** deve ser acionado quando todas as informações da ESTRUTURA e os Módulos iniciais foram inseridos nos quadros. Após acionar o botão **RETROANALISAR** o BackMeDiNa irá realizar o cálculo automático em busca do menor erro quadrático médio (RMS). Esse botão chama a rotina interna da biblioteca do AEMC, a fim de realizar os cálculos e buscar os Módulos das Camadas.

Dica: Tecla de atalho para Retroanalisar: F2

O botão **RETROANALISAR TODAS** permite realizar o cálculo automático de todas as bacias, fazendo a retroanálise em lotes. Existe a opção para retroanalisar todas, mesmo aquelas que já foram avaliadas; ou a opção para avaliar apenas que ainda não foram calculadas. Em função do número de bacias, do número de camadas da estrutura e da condição das bacias, o cálculo pode levar mais de hora para concluir.

Dica: Pressionando a tecla TAB o programa interrompe o processo de retroanálise da bacia selecionada e passa para a próxima bacia.

Dica: Pressionando a tecla ESC o programa interrompe o processo de retroanálise, mantendo todos os cálculos já realizados.

Lembre-se de salvar sempre o trabalho!

PRINCÍPIO DE CÁLCULO

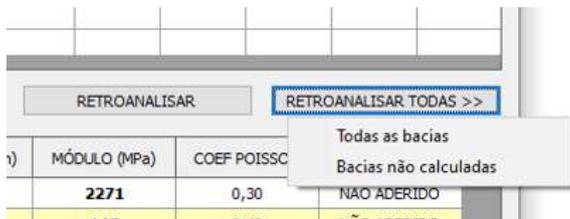
O programa inicia o cálculo sempre com os módulos indicados na estrutura do pavimento. O programa varia este Módulo por uma faixa que depende do erro da retroanálise. Para erros elevados, a faixa de cada módulo é de 50% do valor indicado (para maior e menor) na estrutura, a fim de abranger um maior nível de soluções. Para erros menores, a faixa de valores de Módulo diminui para 10%. O número de intervalos de cada faixa é igual a 9.

Após iniciada a retroanálise, a partir do clique no botão **RETROANALISAR** o programa testa todos os intervalos possíveis de módulos de todas as camadas e, ao final, apresenta a bacia calculada que melhor se aproxima da bacia medida, ou seja, a que apresentar o menor erro quadrático médio (RMS). O programa repete a rotina de cálculos considerando o melhor conjunto de módulos obtidos da tentativa anterior.

Assim, para uma boa retroanálise, o projetista deve avaliar bem os resultados e compatibilizá-los com os materiais existentes no campo. Caso a retroanálise não ficar a contento, o projetista pode reavaliar a estrutura e repetir o processo.

Se as bacias foram obtidas a partir de um trecho homogêneo, o projetista, após avaliar a primeira bacia, pode se valer da opção "*Aplicar nas demais camadas*" que irá aplicar a primeira retroanálise em todas as demais bacias. Esse recurso pode facilitar as demais retroanálises.

O projetista pode clicar, ainda, no botão **RETROANALISAR TODOS** para que o programa realize os cálculos automaticamente de todas as demais bacias. Duas opções surgem ao clicar este botão: O primeiro aciona a rotina que irá retroanalisar todas as bacias; e o segundo que aciona a rotina que retroanalisa apenas as bacias que ainda não foram analisadas.



CONGELANDO UMA CAMADA

O projetista precisa sinalizar para o programa BackMeDiNa qual a camada que ele deseja congelar o Módulo, a fim de agilizar o processo de retroanálise. A coluna denominada CAMADA da estrutura apresenta a numeração das camadas. Para marcar a camada para ter seu módulo com valor fixo, basta o projetista clicar duas vezes sobre o número da camada.

Ao ser marcada, aparecerá a marca <__> no número, indicando que a camada não irá variar o Módulo no Processo de Retroanálise.

Erro da retroanálise

O erro da retroanálise é calculado pelo método da raiz do valor quadrático médio ou RMS (root mean square). O RMS é calculado a partir das diferenças encontradas entre as deflexões calculadas e as deflexões medidas. A equação do RMS é apresentada na imagem abaixo.

$$Erro (RMS) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{calc} - d_{medido}}{d_{medido}} \right)^2$$

Quando o erro for inferior a 5%, o programa marca a seção com a cor verde no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise conseguiu uma boa correlação.

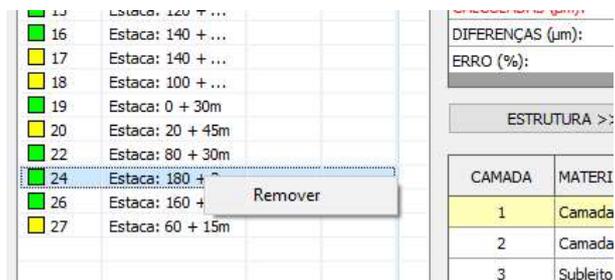
Quando o erro for inferior a 10%, mas superior a 5%, o programa marca a seção com a cor amarela no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise conseguiu uma correlação razoável.

Quando o erro for superior a 10%, o programa marca a seção com a cor vermelha no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise não conseguiu uma correlação satisfatória.

Removendo uma bacia

Para excluir uma bacia da lista de pontos a serem retroanalisados, o projetista deve selecionar na lista a bacia com o clique do mouse. Após selecionada a bacia, sobre a seleção deve-se clicar com o botão direito do mouse que irá abrir um menu pop up com a opção para Remover a bacia. Após clicar em Remover, o programa emitirá uma mensagem de alerta que, após confirmada a exclusão, o programa irá retirar da lista a bacia selecionada.

Tenha certeza antes de excluir, pois uma vez excluída a bacia da listagem do arquivo, ela não poderá mais ser carregada.



The screenshot shows a software interface with a list of points on the left and a data table on the right. The list of points includes:

ID	Estaca
16	Estaca: 140 + ...
17	Estaca: 140 + ...
18	Estaca: 100 + ...
19	Estaca: 0 + 30m
20	Estaca: 20 + 45m
22	Estaca: 80 + 30m
24	Estaca: 180 + ...
26	Estaca: 160 + ...
27	Estaca: 60 + 15m

A context menu is open over point 24, showing a 'Remover' button. To the right, a table shows the structure of the selected point:

CAMADA	MATERI
1	Camada
2	Camada
3	Subleito