

# Investigações Geotécnicas e Proposta para Estabilização e Recuperação de Taludes na Rodovia BR-010 no Trecho Aparecida do Rio Negro a Goiatins, Estado do Tocantins

Rideci Farias.

UCB / Reforsolo Engenharia / UniCEUB / IesPlan, Brasília, Brasil, rideci.reforsolo@gmail.com

Haroldo Paranhos.

UCB / Reforsolo Engenharia / UniCEUB / IesPlan, Brasília, Brasil, reforsolo@gmail.com

Jovino Rachid Araújo.

CMT Engenharia, Brasília, Brasil, jovino@cmtengenharia.com.br

Leonardo Ramalho Sales.

UniCEUB, Brasília, Brasil, leonardoramalhosaes@gmail.com

**RESUMO:** Este Artigo objetiva apresentar os resultados dos estudos geotécnicos e proposta para estabilização dos taludes referentes aos cortes 16, 23, 25, 30 e 31 da Rodovia BR-010 referente ao trecho Aparecida do Rio Negro a Goiatins, Estado do Tocantins. Os estudos consistiram na execução de um programa de incursões a campo para verificação das condições geotécnicas ao longo do trecho indicado, execução de ensaios em laboratório, e análises de estabilidades dos taludes com vistas a indicar soluções aos cortes realizados necessários à conclusão da Rodovia. Em termos de caracterização do problema, apresenta-se parte do levantamento fotográfico realizado em novembro de 2007 com as condições dos taludes mais críticos. Verifica-se nas fotos que os taludes laterais à Rodovia se encontravam em processo de degradação e (ou) instabilização progressiva que requeriam intervenções urgentes com vistas à mitigação dos problemas em curso. Em termos de geometria, os taludes apresentavam alturas até aproximadamente 35 metros. Para a determinação dos parâmetros necessários à verificação da estabilidade dos taludes, foram utilizados três blocos indeformados de solos correspondentes aos cortes 25 e 31. São apresentadas as identificações das amostras bem como o resumo dos resultados dos ensaios geotécnicos efetuados e parâmetros determinados. Nos ensaios de laboratório, verificou-se que os parâmetros de resistência (Coesão e Ângulo de Atrito) divergiram, de certa forma, dos parâmetros usuais obtidos para solos em laboratório. Esse comportamento deveu-se ao fato da heterogeneidade das amostras pela presença, principalmente, de descontinuidades nos blocos coletados. Diante das análises de estabilidades executadas e dos levantamentos de campo realizados, verificou-se, a necessidade de ações com vistas à solução dos problemas para taludes marginais à rodovia. Assim, em função da proximidade do intenso período chuvoso, propôs-se o retaludamento, com proteção superficial dos taludes visando à estabilização e proteção contra os processos erosivos, bem como a execução de drenagem superficial e profunda. Objetivando ainda verificar a possível degradação dos taludes pelas chuvas, buscou-se no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) a precipitação para a região. Verificou-se que para a época nos meses de janeiro, fevereiro e março a precipitação é consideravelmente elevada, o que poderia comprometer ainda mais a integridade dos cortes executados. Diante dessa possibilidade, indicou-se considerar a urgência de ações que pudessem impedir essa degradação. Ações como o abatimento e proteção dos taludes mostradas no estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilidade, Talude, Investigação, BR 010.

## 1 INTRODUÇÃO

Este Artigo objetiva apresentar os resultados dos estudos geotécnicos e proposta para estabilização dos taludes referentes aos cortes 16, 23, 25, 30 e 31 da Rodovia BR-010 referente ao trecho Aparecida do Rio Negro a Goiatins, Estado do Tocantins, realizados no ano de 2007. Os estudos consistiram na execução de um programa de incursões a campo para verificação das condições geotécnicas ao longo do trecho indicado, bem como a execução de ensaios em laboratório, e análises de estabilidades dos taludes com vistas a indicar soluções aos cortes realizados necessários à conclusão da Rodovia.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em termos de caracterização do problema procedeu-se às avaliações e análises de campo acompanhadas de um amplo levantamento fotográfico realizado em novembro de 2007 com as condições dos taludes 16, 23, 25, 30 e 31. Verifica-se nas Figuras 1 a 13 que os taludes laterais à Rodovia, em certos casos, se encontravam em processo de degradação e (ou) instabilização progressiva que requeriam intervenções urgentes com vistas à mitigação dos problemas em curso. Em termos de geometria, os taludes apresentaram alturas até aproximadamente 35 metros, conforme evidenciado nas seções analisadas e mostradas neste Artigo.



Figura 1. Vista geral de parte do Corte 16.



Figura 2. Vista geral de parte do Corte 16 com erosão superficial.



Figura 3. Vista geral de parte do Corte 16 com erosão superficial.



Figura 4. Vista do talude do Corte 23.



Figura 5. Corte 25, ainda intacto (Setembro 2007).



Figura 6. Talude do Corte 25 com início de processo de degradação do talude.



Figura 10. Saturação a partir da base do talude no Corte 25.



Figura 7. Material do horizonte inferior do Corte 25.



Figura 11. Mina d'água no talude do Corte 25.



Figura 8. Trincas de tração em berma do Corte 25.



Figura 12. Trecho de ruptura no talude do Corte 25.



Figura 9. Trincas de tração em berma do Corte 25.



Figura 13. Corte 31 (saturação da base do talude).

### 3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS REALIZADOS

Para a determinação dos parâmetros necessários à verificação da estabilidade dos taludes, foram utilizadas três amostras indeformadas de solos correspondentes aos cortes 25 e 31. A Tabela 1 apresenta a identificação da amostra para o Corte 25, mas também o resumo dos resultados dos ensaios geotécnicos efetuados e parâmetros determinados. As três amostras indeformadas foram utilizadas na execução dos ensaios de umidade natural, massa específica aparente e de cisalhamento direto para definição dos parâmetros de resistência. Os ensaios foram executados de acordo com normas ABNT e (ou) procedimentos usuais utilizados em laboratório geotécnico. Para os ensaios de cisalhamento direto (ASTM D3080/D3080M:2011), os corpos-de-prova foram ensaiados na condição inundada com vistas a verificar o possível comportamento mecânico crítico do solo.

Tabela 1. Resumo dos ensaios geotécnicos efetuados e parâmetros determinados para a Amostra do Corte 25.

Corte 25 – Estaca 1410 (Talude Lado Direito) – Cota 310,394 m		
Peso Específico Natural	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	22,17
Umidade natural	w (%)	9,38
Coesão Efetiva (Pico)	C' (kPa)	78 (Condição Inundada)
Ângulo de atrito efetivo (Pico)	$\phi'$ (graus)	19 (Condição Inundada)
Coesão Efetiva (Residual)	C (kPa)	27 (Condição Inundada)
Ângulo de atrito efetivo (Residual)	$\phi'$ (graus)	15 (Condição Inundada)
Peso Específico Aparente Seco (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,27
Peso Específico dos Sólidos (ou dos Grãos)	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,81
Peso Específico Saturado (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	22,86
Índice de Vazios	-	0,36
Porosidade	n (%)	26,43
Grau de Saturação (%)	Sr (%)	73,38

### 4 OBSERVAÇÕES SOBRE AS MOSTRAS DE SOLOS COLETADOS

Verifica-se pela Tabela 1, a exemplo dos outros

ensaios realizados para as demais amostras não mostradas neste Artigo, que os parâmetros de resistência (Coesão e Ângulo de Atrito) divergem, de certa forma, dos parâmetros usuais obtidos para solos em laboratório. Esse comportamento deveu-se ao fato da heterogeneidade da amostra pela presença, principalmente, de descontinuidades nos blocos coletados.

Tais descontinuidades foram também verificadas em campo quando das três vistorias realizadas, nos meses de setembro, novembro e dezembro de 2007, para avaliação dos cortes executados ao longo da Rodovia.

Essas descontinuidades contribuíram diretamente nas dificuldades encontradas pelos técnicos do Laboratório de Geotecnia quando da moldagem das amostras para os devidos ensaios. Tais dificuldades ocasionaram repetições de diversos ensaios em que não se verificou convergência nos resultados.

### 5 ANÁLISES DE ESTABILIDADES REALIZADAS

Em função das dificuldades encontradas, tanto na coleta dos blocos quanto na moldagem dos corpos ensaiados, com a obtenção de parâmetros poucos corriqueiros para solos da região Centro-Norte do Brasil, foram executadas diversas análises de estabilidade dos taludes por meio de programa computacional SLOPE/W, versão 2007, comercializados pela Geo-slope International. Tais análises compreenderam a utilização dos parâmetros obtidos em laboratório, bem como simulações com parâmetros mais realísticos que representassem estabilidade com fator de segurança próximo a 1 (um) para o talude do Corte 25, em observância às condições condizentes dos taludes.

Após diversas análises com vistas a encontrar parâmetros mais realísticos para os solos que compunham os taludes dos Cortes 25 e 31, corrigiram-se para o solo do horizonte superior e inferior obtendo-se os valores mostrados nas Tabelas 2 e 3 (horizonte superior) e 6 (horizonte inferior).

Para os valores de coesão, manteve-se o

valor de 14 kPa encontrado para o horizonte superior e, por se tratar de um valor de coesão elevada para solos característicos da região, diminuiu-se de 78 kPa para 44 kPa referente ao horizonte inferior. O valor de 44 kPa deve-se ao fato das diversas análises de estabilidade realizadas com vistas à compatibilidade do que vinha ocorrendo em campo. É de se estranhar esse valor, pois o solo apresentava baixa coesão quando desconfinado, mas quando confinado a coesão tendia a ser maior. Para o caso em questão em que ocorreu a exposição da face do talude o solo tendia a se expandir com a conseqüente desagregação necessitando, assim, de, ao mínimo, proteção superficial do talude.

Tabela 2 – Parâmetros de resistência corrigidos para o horizonte superior de solo.

Parâmetros de Resistência para o Horizonte Superior		
Coesão Efetiva	C (kPa)	14
Ângulo de atrito efetivo	$\phi'$ (graus)	26

Tabela 3 – Parâmetros de resistência corrigidos para o horizonte inferior de solo.

Parâmetros de Resistência para o Horizonte Superior		
Coesão Efetiva	C (kPa)	44
Ângulo de atrito efetivo	$\phi'$ (graus)	26

Ressalte-se que em campo foram observadas os mais variados tipos localizados de rupturas, destacando-se a planar, circular e pequenos deslocamentos. Dentro dessa complexidade, partiu-se na maioria dos casos à reprodução de rupturas circulares que são bastantes comuns em solos.

A simplificação adotada em parte do estudo para ruptura circular advém da já citada complexidade em termos de heterogeneidade e das dificuldades encontradas, tanto na seleção de coleta dos materiais quanto na moldagem das amostras com vistas a se obter parâmetros que pudessem representar a similaridade de campo.

Dentro do assunto em questão, para as análises e conclusões quanto ao posicionamento

nas intervenções adequadas, objetivando geometrias estáveis, há de se considerar - além dos estudos computacionais com as diversas particularidades, mas também, a importância dos levantamentos *in situ* por profissionais que sejam capazes de se posicionar em soluções face aos mais diversos problemas que possam ser identificados.

Em termos de estabilidade foram feitas diversas análises para os cortes 16, 23, 25, 30 e 31 que representam, de uma forma geral, os taludes encontrados ao longo do trecho estudado. A seguir, apresentam-se os estudos para o talude do corte 25 por se tratar de um dos mais críticos verificados em campo. Inicialmente são apresentadas as estabilidades do Corte 25 para os parâmetros obtidos em laboratório apenas para verificação, visto que a obtenção dos parâmetros de resistência ficou comprometida, conforme citado anteriormente. Posteriormente, são apresentadas as análises com parâmetros mais realísticos, em observância aos solos encontrados e às condições verificadas em campo.

## 5.1 Estabilidade com Parâmetros Obtidos em Laboratório

A seguir, nas Figuras 14 e 15, são apresentadas as análises de estabilidade, com os parâmetros de resistência obtidos em laboratório, para o Corte 25 nas Estacas 1410 e 1411.

### 5.1.1 Estabilidade do Corte 25 – Estaca 1410 – Parâmetros de Laboratório (Figura 14)

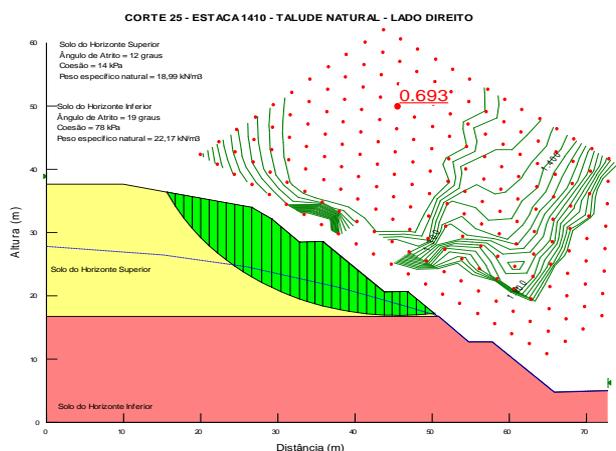


Figura 14. Estabilidade do Corte 25 com parâmetros obtidos em laboratório (FS = 0,693) – Estaca 1410 (Talude natural – Lado direito).

### 5.1.1 Estabilidade do Corte 25 – Estaca 1411 – Parâmetros de Laboratório (Figura 15)

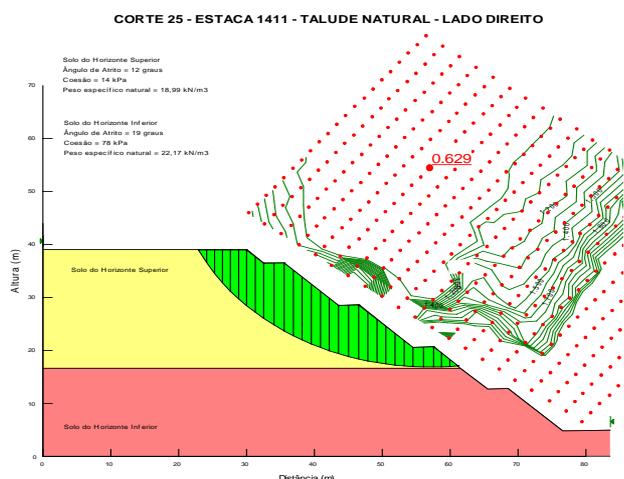


Figura 15. Estabilidade do Corte 25 com parâmetros obtidos em laboratório (FS = 629) – Estaca 1411 (Talude natural – Lado direito).

## 6 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES DE ESTABILIDADES REALIZADAS

Diante das análises de estabilidades executadas e dos levantamentos de campo realizados, verificou-se a necessidade de ações com vistas à solução dos problemas que os taludes marginais à rodovia vinham apresentando. Para isso, indicou-se dois tipos de intervenções, a seguir:

a) O primeiro tipo de intervenção proposto foi o abatimento (retaludamento) dos taludes para geometrias estáveis dentro da prática de engenharia, considerando a economia, meio ambiente, área de inserção do empreendimento, dentro outros fatores. Neste caso, recomendou-se verificar a disponibilidade de áreas para corte além da faixa de domínio da rodovia, caso necessário, e o local de disposição do material removido;

b) O segundo tipo de intervenção foi a recomendação para adoção de estruturas que permitiam a estabilização dos taludes ora existentes. Dentro dessa prática há diversas soluções como: solo grampeado, atirantamento, estacas raiz, etc.

Para o caso em questão, em função da proximidade com o período chuvoso mais intenso, havia a necessidade de se intervir o

mais rápido possível. Dentro do prazo que se dispunha, recomendou-se então o retaludamento das seções com a execução de drenagem profunda e de superfície. Para a drenagem profunda costuma utilizar o DHP – Dreno Subhorizontal Profundo, e a drenagem de superfície é comumente contemplada pelos drenos de paramento e canaletas.

Para as simulações de retaludamento, procedeu-se a diversas análises de estabilidade nos taludes estudados. Como forma de exemplo, apresenta-se nas Figuras 16 e 17 as análises de estabilidade para o Corte 25 na estaca mais crítica (Estaca 1411). Para essas simulações, partiu-se das seções naturais com a execução de cortes para definição de geometrias estáveis dentro da prática da engenharia. Após as diversas simulações chegou-se a taludes com 1V:1,5H para os cortes 16, 23, 30 e 31. Isso principalmente pela necessidade de se instalar algum tipo de proteção superficial nos taludes, como exemplo geocélula, de forma a impedir os processos erosivos.

Para o corte 25, partiu-se do talude natural, Fator de Segurança igual a 1,007 (Figura 16), com a execução do retaludamento e introdução de drenos subhorizontais profundos para rebaixamento no N. A. dentro do maciço.

Inicialmente, simulou-se uma área de corte transversal aproximada de 358 m<sup>2</sup> na Estaca 1411. Nessa situação, havia a necessidade de se deslocar lateralmente da situação existente para fora da rodovia - contando de baixo para cima - a primeira berma em 5 metros, a segunda em 10 metros, a terceira em 15 metros, a quarta em 18,5 metros e a quinta em 20 metros. A Figura 17 apresenta tal situação em que se obteve o Fator de Segurança de 1,118 que representa um valor baixo para a estabilidade do talude em questão.

Adicionalmente ao retaludamento, simulou-se o rebaixamento do N. A. no interior do talude o que representa a introdução dos drenos subhorizontais para a retirada da água em excesso. Nessa situação obteve-se o Fator de Segurança de 1,488, considerado satisfatório para o tipo de obra em questão. A Figura 18 representa a situação analisada.

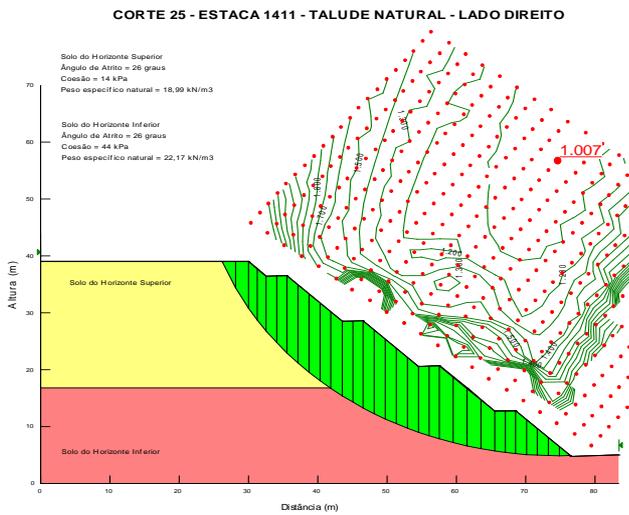


Figura 16. Estabilidade do Corte 25 com Parâmetros Corrigidos – Estaca 1411 (Talude Natural – Lado Direito).

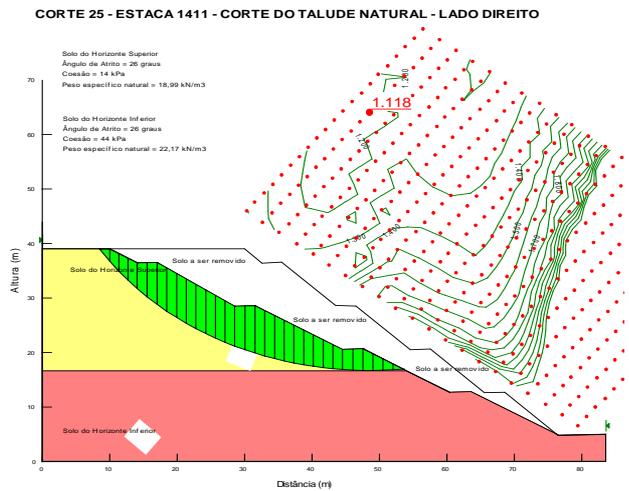


Figura 17. Estabilidade do Corte 25 com a remoção de solo proposta – Estaca 1411 (Talude Natural – Lado Direito).

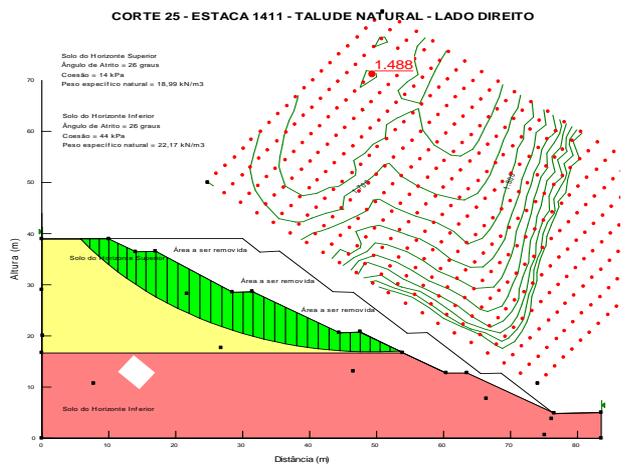


Figura 18. Estabilidade do Corte 25 – Estaca 1411 (Talude Natural – Lado Direito) – NA Baixo (Introdução de drenos subhorizontais profundos).

## 7 RECOMENDAÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS TALUDES ESTUDADOS

Diante das análises de estabilidades executadas e dos levantamentos de campo realizados, verificou-se, conforme já comentado, a necessidade de ações com vistas à solução dos problemas que os taludes marginais à rodovia vinham apresentando. Assim, em função da proximidade do intenso período chuvoso que se aproximava, propôs-se o retaludamento dos Cortes 16, 23, 25, 30 e 31, com proteção superficial dos taludes visando à estabilização e proteção contra os processos erosivos que ocorriam e que vieram a ocorrer, bem como a execução de drenagem superficial e profunda.

Outra recomendação feita, foi a execução de colchão drenante na rodovia ao longo dos cortes executados com vistas a impedir a possível surgência de água que pudessem comprometer as camadas superficiais da rodovia, como a sub-base, base e revestimento, isso pela constatação de saturação das bases dos taludes nos cortes executados.

## 8 ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA DA ÁREA

A fim de verificar a possível degradação dos taludes pelas chuvas, buscou-se no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) a precipitação para a região, em anos anteriores, e no período dos cortes executados. Verificou-se pelas Figuras 19 a 24 que nos meses de janeiro, fevereiro e março há elevada precipitação, o que poderia comprometer ainda mais a integridade dos cortes executados. Diante dessa possibilidade, havia de se considerar a urgência de ações que pudessem impedir a degradação. Ações como o abatimento e proteção dos taludes indicados neste Artigo e no Trabalho completo desenvolvido.

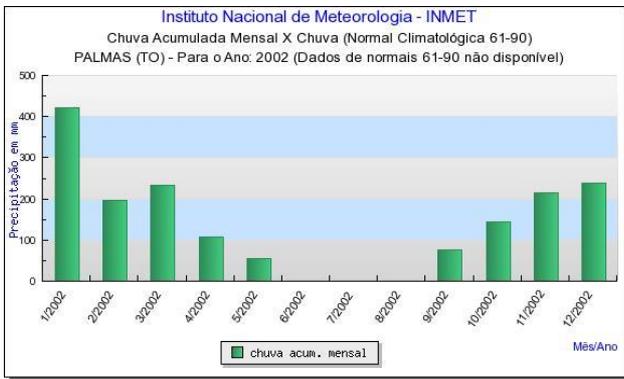


Figura 19. Chuva acumulada para o ano 2002.

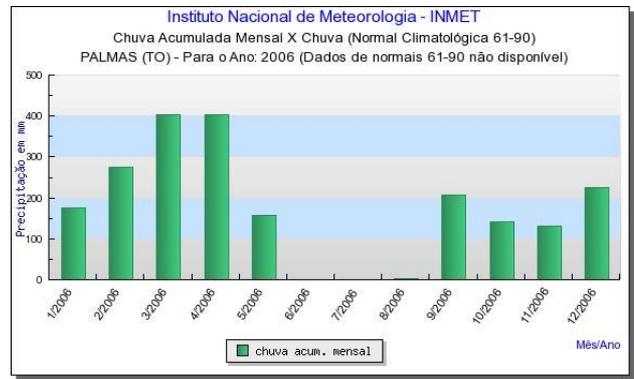


Figura 23. Chuva acumulada para o ano 2006.

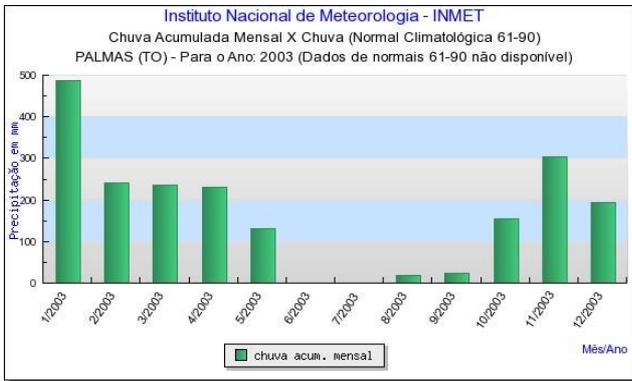


Figura 20. Chuva acumulada para o ano 2003.

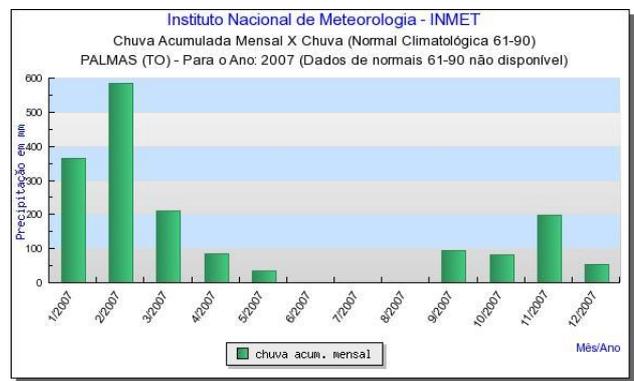


Figura 24. Chuva acumulada para o ano 2007.

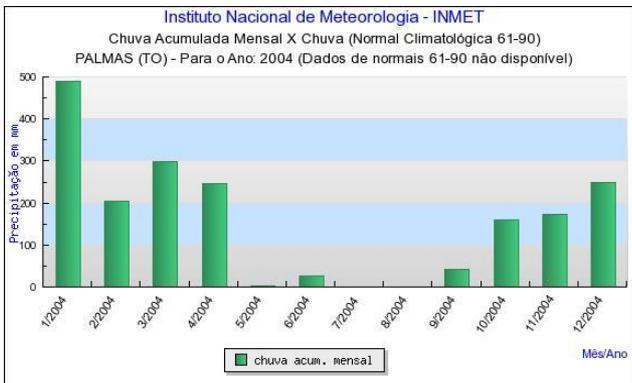


Figura 21. Chuva acumulada para o ano 2004.

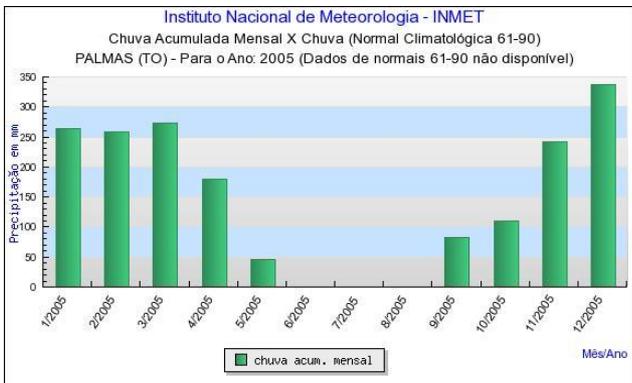


Figura 22. Chuva acumulada para o ano 2005.

## AGRADECIMENTOS

A Reforsolo Engenharia Ltda., CMT Engenharia, Universidade Católica de Brasília (UCB), Centro Universitário de Brasília (UnICEUB) e ao Instituto de Ensino Superior Planalto com contribuições importantes que tornaram possível a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT / NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.
- ABNT / NBR 6457: Solo – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- ASTM D3080/D3080M:2011 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- Geo-slope international. (2007). Stability modeling with SLOPE/W, an engineering methodology.
- Geo-slope international. (2007). Stress deformation modeling with SIGMA /W, an engineering methodology.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). <http://www.inmet.gov.br/portal/>.