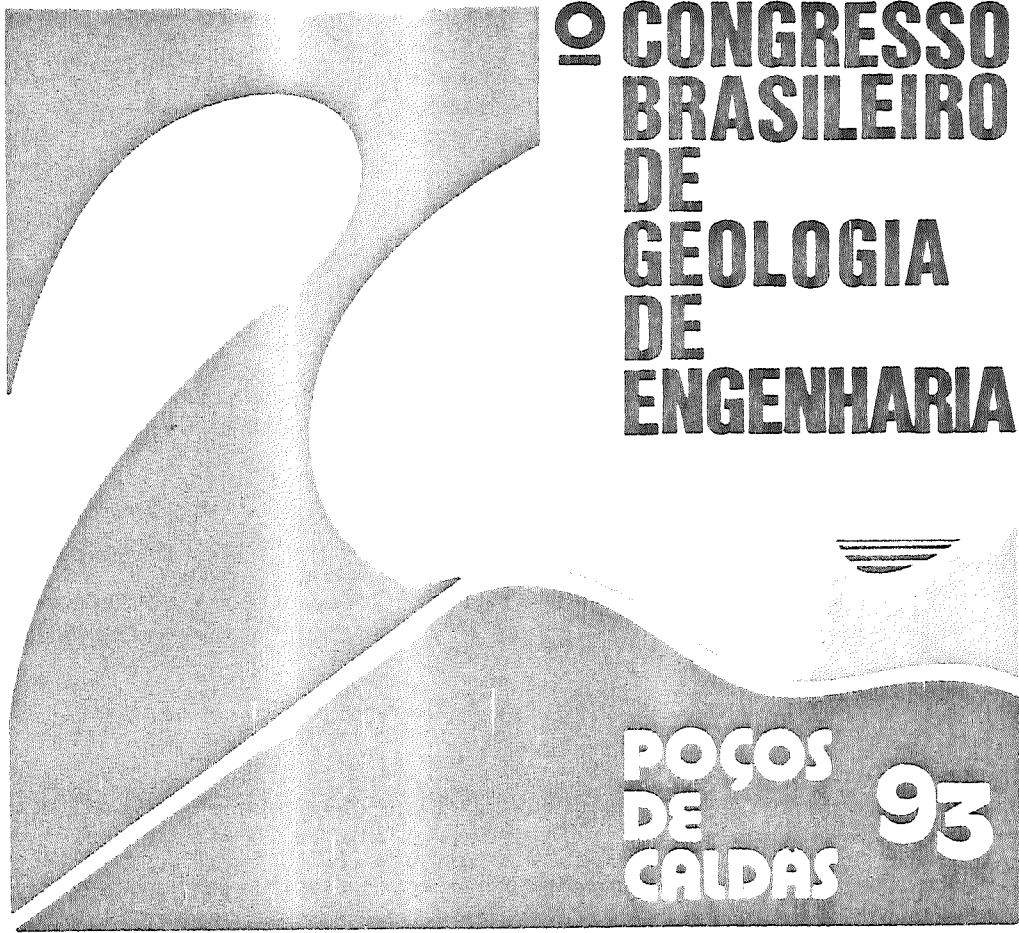


7º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - POÇOS DE CALDAS, 12 A 16 SET/93



○ CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

POÇOS
DE
CALDAS 93

12 A 16 SET/93

VOLUME 2

SYSNO	860763
PROD	001706
ACERVO EESC	

nt. 860763



CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA APLICADA À ESTABILIDADE DE TALUDES EM ÁREA METROPOLITANA

Eduardo Chapadeiro, Geól. FEAM/MG, Tarcísio Barreto Celestino, Prof. Doutor Depto. Geotecnia, EESC/USP; Antônio Airton Bortolucci, Prof. Assistente Depto. Geotecnia, EESC/USP.

RESUMO *Os custos de implantação de obras corretivas não previstas costumam ser bem maiores do que aqueles que seriam necessários a um programa de investigações geológico-geotécnicas preliminares no maciço rochoso. No caso de taludes em área urbana, entende-se que uma classificação geomecânica adequada, derivada de levantamentos básicos, pode fornecer, sem ônus significativo, importantes subsídios ao planejamento e/ou projeto das obras.*

Dentro desta perspectiva, apresentam-se resultados da aplicação de classificações já estabelecidas a quatro maciços caracterizados a partir de levantamentos de campo, expostos em cortes na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Para aferição de sua aplicabilidade, utilizam-se análises de estabilidade simplificadas e observações qualitativas do comportamento real dos taludes.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é resultado de pesquisa acadêmica, realizada no âmbito do curso de pós-graduação em Geotecnia da EESC - USP, e tem por objetivo discutir a utilidade dos sistemas de classificação geomecânica na avaliação da estabilidade de taludes rochosos.

Considerando que os custos e o tempo necessários para ensaios e análise de estabilidade mais elaborados são, de modo geral, incompatíveis com avaliações preliminares de obras urbanas mais comuns, entende-se como viável o tratamento do problema a partir de um modelo geomecânico de base empírica, que possa fornecer elementos ao projeto geotécnico básico, propiciando estimativa rápida da estabilidade do(s) talude(s) na condição

solicitada e, ainda, a concepção e orçamento prévios de obras porventura necessárias.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA E SUA APLICAÇÃO A TALUDES

A viabilidade do uso dos sistemas estabelecidos depende das condições geológicas do maciço e, também, da obra que se pretende implantar. Por vezes, é necessário ajustar a faixa de variação dos parâmetros considerados nas classificações, tendo em conta as particularidades geológicas da área.

A maioria das classificações e, mais precisamente, as duas mais utilizadas e con-

sagradas - a de Barton *et al.* (1974) e a de Bieniawski (1989) - foram concebidas para uso em obras subterrâneas. O sistema Q, proposto por Barton *et al.*, dada a sua especificidade, foi muito pouco aplicado à estabilidade de taludes, enquanto que o de Bieniawski já foi mais frequentemente utilizado e, eventualmente, adaptado para adequação ao problema.

Merece destaque, nesse último caso, a proposição de Romana (1985, 1988 - apud, Romana, 1991), que, tendo em vista a ausência de critérios para adoção do ajuste referente à orientação das descontinuidades no sistema RMR, e a influência do tipo de desmonte utilizado na obra, estabeleceu um método fatorial, cujo objetivo é corrigir o valor de RMR, resultando um índice (SMR - "slope mass rating") representativo das condições de estabilidade do talude, ao qual se associa, a princípio, determinado tipo de obra de contenção e/ou drenagem.

PROCEDIMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS EM TALUDES DE CORTE

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade dos sistemas RMR, SMR e Q e, também, de mensurar o tempo empenhado de um geólogo de engenharia no levantamento e tratamento dos dados e, portanto, o custo envolvido nessas atividades, realizou-se a classificação de 4 maciços, situados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), constituídos por rochas metassedimentares, deformadas por intensa atividade

tectônica (formações do Supergrupo Minas e dos Grupos Nova Lima e Bambuí).

Em síntese, o procedimento que possibilitou a classificação de cada maciço consistiu das seguintes etapas: análise de mapas geológicos disponíveis, consulta à bibliografia geológica sobre a área, observações expeditas nas proximidades do talude (principalmente para verificação da condição hidrogeológica), seleção de porção representativa para o levantamento (no caso de taludes muito extensos), definição da geometria básica do talude, descrição geológico-geotécnica geral (utilizando-se fichas de campo semelhantes à proposta pela ISRM, 1980), delimitação das zonas ou unidades geotécnicas de provável (ou comprovado) comportamento homogêneo e caracterização sistemática das descontinuidades e do estado do material rochoso (grau de alteração e resistência estimada pelo impacto do martelo) em cada zona geotécnica ou na zona considerada crítica.

As atitudes das descontinuidades foram tratadas em diagramas de Schmidt-Lambert (diagrama de igual área), adotando-se o procedimento sugerido por Terzaghi (1965) para: correção dos diagramas e do número de dados levantados por família de juntas, definição do espaçamento modal das juntas (parâmetro utilizado nas classificações) e de seu espaçamento médio (usado para o cálculo de RQD, através da relação empírica de Barton *et al.*, 1974).

Definidas, ou confirmadas, as famílias de descontinuidades nos diagramas, cada uma delas foi analisada em relação aos

* Embora o sistema RMR ("rock mass rating"), de Bieniawski, tenha sido publicado pela primeira vez em 1973, ele sofreu várias modificações, sendo de 1989 a última versão.

parâmetros levantados. Quadros-resumo, com as características das descontinuidades e do material rochoso, foram elaborados para cada unidade homogênea dos maciços, permitindo, assim, sua rápida análise e classificação.

Os resultados obtidos com a aplicação das 3 classificações aos maciços são apresen-

tados na Tabela 1. Cumpre esclarecer que, em razão de os maciços sempre apresentarem uma família de descontinuidade muito marcante e, portanto, condicionadora de sua resistência, os sistemas de classificação foram aplicados tendo em conta as características dessas famílias.

TABELA 1. Resultados da classificação geomecânica dos maciços e da observação de campo

Maciços Classificação	M1		M2		M3		M4	
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
RMR_b	53	48	53	48	76	90	48	43
ângulo de atrito (α) (KPa)	25°-35° 200-300	25°-35° 200-300	25°-35° 200-300	25°-35° 200-300	35°-45° 300-400	> 45° > 400	25°-35° 200-300	25°-35° 200-300
RMR_a	28	2	48	2	71	90	2	38
classe	IV	V	III	V	I	I	V	V
SMR	51	31	47	31	72	90	19	37
classe	III	V	III	V	I	I	V	V
comportamento previsto	parcial estável	instável	parcial estável	instável	estável	total/e estável	total/e instável	instável
Q	0,3	0,2	1,3	0,2	15	200	0,13	0,3
"atr. descontinuidade" classe	20°-25° Mto Ruim	20°-25° Mto Ruim	20°-25° Ruim	2°-16° Mto Ruim	25°-30° Bom	25°-35° ótimo	8°-16° Mto Ruim	20°-25° Mto Ruim
Comportamento obser- vado em campo	estável condição limite	ped rupturas cunha	estável erosão em sulco	ped rupturas planares	estável	estável	grandes rupturas cunha	estável erosão

* Notas:

- RMR_b é o índice básico, que não inclui o ajuste para orientação relativa das descontinuidades e que, portanto, traduz a resistência ao cisalhamento do maciço;
- RMR_a é o índice ajustado, que inclui a parcela de correção para orientação das descontinuidades;
- "atr. descontinuidade" é o ângulo de atrito da principal família de descontinuidades, obtido a partir da tabela de "condição de alteração das paredes das descontinuidades" do sistema Q;
- Localização dos maciços:
M1 e M2 - via urbana do Bairro Vila da Serra, município de Nova Lima
M3 - rodovia MG - 010, próximo ao acesso para Vespasiano
M4 - Avenida Raja Gabaglia, próximo à Floricultura Sion, B.H.

VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DAS CLASSIFICAÇÕES

A conveniência de se utilizar sistemas de classificação geomecânica na estimativa preliminar da estabilidade de taludes tem sido corroborada por diversos autores, como Sâncio & Brown (1980), Haines & Terbrugge (1991), Romana (1991), Gripp (1992), dentre outros.

Todavia, a praticidade e consistência do uso de uma dada classificação devem sempre ser aferidas de forma a verificar sua aplicabilidade e otimizar procedimentos metodológicos. Com este intuito, e apesar do número restrito de aplicações, comparam-se, a seguir, os resultados apresentados, no item anterior, com o comportamento real dos taludes, tomando por base as observações de campo (última linha da tabela 1) e análises cinemáticas simplificadas, segundo critérios de Hoek & Bray (1981)*.

No caso do maciço M1Z1, constatou-se que as rupturas planares ou em cunha são cinematicamente improváveis, pois a principal superfície de descontinuidade (xistosidade) mergulha cerca de 2° a mais que o plano do talude. Não fosse esse confinamento, seria de se esperar que ocorressem rupturas planares, pois a mencionada descontinuidade tem direção subparalela à do plano do talude e as faixas de variação do ângulo de atrito, obtidas através das classificações, não seriam suficientes para opor resistência à ruptura ao longo de superfícies com mer-

gulho entre 36° e 50° (figura 1a). De fato, o que se observa é que o talude, de pequenas dimensões (cerca de 5 metros de altura), mantém-se estável.

O valor do parâmetro Q define o maciço como "muito ruim" e o RMR ajustado o enquadra na classe IV, indicando que é de má qualidade e, portanto, instável. O índice que mais aproxima a classe do maciço do comportamento observado é o SMR, que aponta para um talude parcialmente estável.

No M1Z2, são frequentes os deslizamentos de blocos tabulares, com dezenas de centímetros, ao longo, à primeira vista, dos planos da xistosidade, que nessa unidade Z2, apresentam ângulos de mergulho mais abatidos. A análise cinemática demonstra, no entanto, que as rupturas se dão em cunhas condicionadas pela xistosidade e por família de fraturas pouco persistentes, para ângulos de atrito menores que 29° (figura 1b). Os sistemas indicam ângulos de atrito entre 25° e 35° (RMR_b) ou de 20° a 25° (Q), o que evidencia certa compatibilidade com a condição de campo. Quanto à classificação propriamente dita, ambos os sistemas acima descrevem o maciço como "muito ruim", enquanto que, através do SMR, o M1Z2 configura-se "instável", porém não totalmente, sujeito a "rupturas planas ao longo de várias descontinuidades e/ou a grandes rupturas por cunhas".

Para a zona geotécnica 1 do maciço M2, constata-se que, em razão da orientação relativa da xistosidade, não existem condi-

* As análises de estabilidade são referidas como de caráter simplificado, porque desconsiderou-se a parcela coesiva da resistência, que poderia ser representada por um ângulo de atrito a ser adicionado ao ângulo de atrito padrão. Os modos de ruptura convencionais foram suficientes para a definição do problema, em razão de a foliação milonítica (principal descontinuidade), nos locais analisados, apresentar-se predominantemente plana, quase sem ondulações (aspecto sigmoidal pouco acentuado).

ções cinemáticas para a ocorrência de ruptura, o que se comprovou nos levantamentos de campo. Apesar disso, essa unidade é classificada como "ruim" pelo sistema Q, e de qualidade intermediária pelos outros dois, muito em função da qualidade da rocha e das características físicas (rugosidade, alteração, preenchimento, etc.) da descontinuidade principal. Já para M2Z2, as condições de estabilidade mostram-se críticas devido ao quase paralelismo entre as direções da xistosidade e do plano do talude (figura 1c). O mergulho aparente da descontinuidade é igual a 24° , e, como são observados escorregamentos de blocos centimétricos, pode se considerar que o ângulo de atrito aparente é menor que 24° , para o nível de tensão local. Assim, a faixa de resistência estimada a partir do RMR_b não condiz com a situação observada. Quanto ao ângulo de atrito definido pelo sistema Q, deve se notar que sua faixa de variação é bem diferente, e que não há, com os dados disponíveis, forma de comprovar sua aproximação da condição real.

A classificação propriamente dita é, também neste caso, excessivamente conservadora, quando se utilizam os índices RMR_a e Q. O SMR, tal como no caso do M1Z2, caracteriza essa porção do maciço como instável (classe IV).

Para o maciço M3, as três classificações exibem resultados bastantes satisfatórios, quando se os compara com o comportamento de campo dos taludes. Em ambas as zonas geotécnicas, as rupturas por descontinuidades não são cinematicamente possíveis.

Em M4Z2, apesar da geometria não desfavorável (a direção do plano da descontinuidade crítica faz ângulo de 64° com a direção do talude), os sistemas de classifi-

cação qualificam o maciço como "ruim" (RMR_a e SMR) ou "muito ruim" (Q). Como no caso do M2Z1, são as condições da rocha e das descontinuidades que conferem qualidade inferior ao maciço.

Embora, no geral, seja constituído por material rochoso menos intemperizado e pouco mais resistente, o maciço M4Z1 apresenta situação precária de estabilidade, em função da conjugação de duas famílias de descontinuidades (xistosidade e fraturas com espaçamento e persistência baixos), que leva à formação de cunha com ângulo de mergulho menor que o do talude (figura 1d).

A cunha tem mergulho de 24° e, uma vez que se observam grandes rupturas, pode se concluir que os parâmetros estimados pelo RMR (ângulo de atrito = 25° a 35° e $c = 200$ a 300 KPa) não são representativos da resistência do maciço. Pelo que se verificou da análise cinemática, o ângulo de atrito aparente é menor ou igual a 24° . Também de forma semelhante ao que ocorre com o maciço M2Z2, o ângulo de atrito estimado no sistema Q (a partir das condições da família de descontinuidades críticas) situa-se bem abaixo daquele gerado pelo RMR_b . Todavia, não se pode afirmar que essa faixa de valores corresponda à resistência ao cisalhamento do maciço, tendo em vista a inexistência de observações que o comprovem.

No que diz respeito ao enquadramento do maciço nas classificações, observa-se relativa coerência entre o resultado da aplicação e o que se verifica no talude. Instabilizações em cunha, que atingem todo o corte, de certa forma explicam a qualificação "muito ruim" obtida com os sistemas RMR e Q, e a condição de "totalmente instável" decorrente do índice SMR. Os deslizamentos não são catastróficos, provavelmente, devido à

ocorrência do fenômeno de ruptura progressiva, que se justifica pelo alto grau de fraturamento do maciço. Ainda assim, o processo atinge praticamente toda a extensão do talude, no sentido de seu maior declive.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do exposto, pode concluir-se, em uma primeira análise, que a aplicação de qualquer dos três sistemas de classificação geomecânica conduz a avaliações conservativas das condições de estabilidade dos taludes.

De fato, não parece ser conveniente o uso dos índices Q e RMR convencional, sem a devida adaptação ao problema. No primeiro caso, sobretudo pela dificuldade de se definir o parâmetro SRF ("stress ratio factor"), que é tipicamente ajustado à situação de escavações subterrâneas; e no outro, pela inexistência de critérios objetivos que permitam a correção do índice básico (aqui designado RMR_b), quanto à orientação relativa das descontinuidades.

A aplicação do sistema SMR , entretanto, leva a boas aproximações da condição de campo observada - das oito unidades geotécnicas classificadas, pode se considerar que duas delas são perfeitamente caracterizadas a partir do índice SMR , e quatro são, de forma razoável, análogas ao tipo de maciço que se prevê na classificação -, cabendo sempre ressaltar o caráter preliminar da presente pesquisa e, portanto, a pouca representatividade dos dados tratados.

Contudo, a questão fundamental que se traz a discussão é a da importância técnica da relativamente pouco onerosa etapa de investigação geológico-geotécnica de maciços rochosos envolvidos em obras

freqüentes e comuns em meio urbano. Vários autores têm apresentado alternativas de estudos que buscam, a um só tempo, eficiência, rapidez e custos não muito elevados. Mais recentemente, Augusto Filho (1992) apresentou, de forma minuciosa, roteiro metodológico de bastante consistência e aplicabilidade comprovada por diversos exemplos práticos.

O tipo de levantamento e tratamento de dados aqui apresentado é mais uma proposta, diga-se de passagem, não original, de enfoque do problema de estabilidade de taludes rochosos. Para ser executada, demanda, em média, 40 horas de trabalhos de campo e de gabinete (por maciço classificado) de um geólogo de engenharia, com relativa experiência no uso de classificações geomecânicas. Se comparado ao investimento em obras corretivas não orçadas no âmbito do projeto - implantação de muros de gabião, cortinas atirantadas ou mesmo reescavação do talude, por exemplo -, o custo de aplicação dessa metodologia é bastante baixo.

É óbvio que, na fase de projeto, geralmente não estão expostos os cortes a serem classificados, o que não inviabiliza o procedimento, uma vez que os levantamentos podem ser feitos em afloramentos naturais previamente limpos e, sobretudo, em taludes artificiais que exponham maciço(s) similar(es) àquele objeto da obra, situação essa bastante comum em áreas urbanas.

Os resultados dos trabalhos de campo, restringindo-se a investigações de superfície, não irão, certamente, prover todas as informações necessárias ao projeto, mas, conjugados com a classificação geomecânica, vão, pelo menos, possibilitar a definição dos modos de ruptura do talude, a estimativa de faixa de valores

dos parâmetros de resistência do maciço, o planejamento de investigações de maior detalhe em zonas críticas e fornecer ao projetista uma primeira noção dos tipos de obra de contenção e/ou drenagem necessários em cada caso, tal como, por exemplo, se vê em Romana (1991). Assim, em uma análise de custo-benefício o procedimento deverá ser vantajoso e de uso recomendável.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO F^o. O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. IN: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS. 1. 1992. Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 757p. p. 721 - 733.
- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, v.6, n^o 4, p. 189 - 236.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classification: complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. New York: John Wiley & Sons. 251p.
- GRIPP, M. de F. A. (1992). Considerações sobre a avaliação da estabilidade de taludes e encostas. IN: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS. 1. 1992. Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 757p. p. 735 - 740.
- HAINES, A.; TERBRUGGE, P. J. (1991). Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. IN: INTERNATIONAL CONGRESS ON ROCK MECHANICS. 7. 1991. Aachen. *Proceedings ...* Aachen: ISRM. v.2. p. 887 - 892.
- HOEK, E.; BRAY, J.W. (1981). *Rock slope engineering*. 3 ed. London: The Institution of Mining and Metallurgy. 358p.
- ISRM (1980). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, v.18, p. 85 - 110.
- ROMANA, M. (1991). SMR Classification. IN: INTERNATIONAL CONGRESS ON ROCK MECHANICS. 7. 1991. Aachen. *Proceedings ...* Aachen: ISRM. v.2. p. 955 - 960.
- SÂNCIO, R.T.; BROWN, I. (1980). A classification of weathered foliated rocks for use in slope stability problems. IN: AUSTRALIA - NEW ZEALAND CONFERENCE ON GEOMECHANICS. Wellington. *Proceedings ...* Wellington, 1980. v.2. p. 81 - 86.
- TERZAGHI, R.D. (1965). Sources of error in joint surveys. *Géotechnique*, 15, p. 287 - 304.

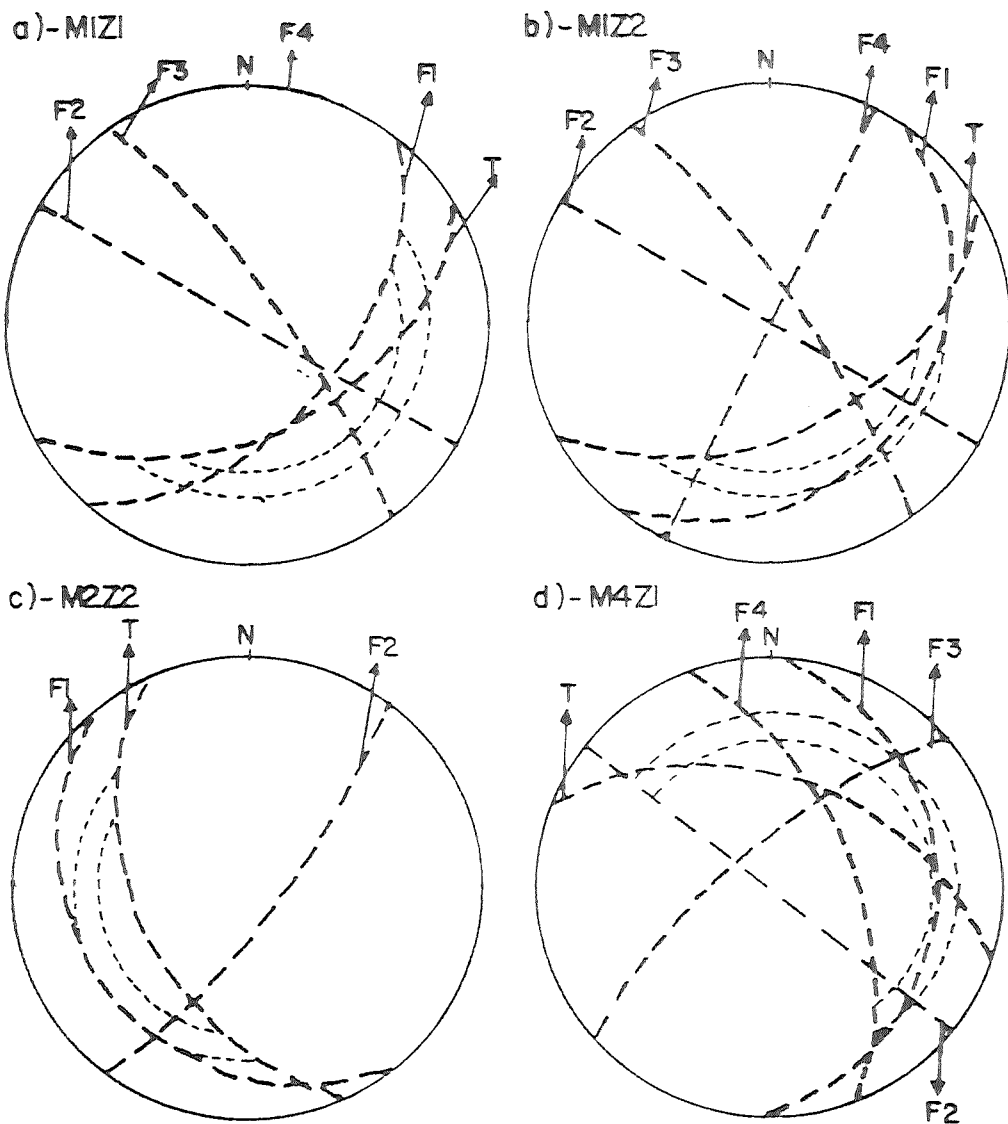


FIGURA 1. Diagramas das análises cinemáticas, onde T representa o plano do talude, F_n a família de descontinuidades e os pequenos círculos, os cones de atrito de 25° e 35°