

## Análise da alteração da condição de estabilidade de talude devido a interferência antrópica e erosão

Jonathan do Amaral Braz

Discente, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, jonathan.amaral@estudante.ufjf.br

Gabriel Dimas Campos da Fonseca

Discente, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, gabriel.dimas@estudante.ufjf.br

Sabrina Roberta de Faria

Discente, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, sabrina.faria@estudante.ufjf.br

Tatiana Tavares Rodriguez

Docente, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, tatiana.rodriguez@ufjf.br

**RESUMO:** Movimento de massa é um fenômeno de grande interesse para a engenharia geotécnica, especialmente em áreas urbanas, por oferecer risco de perdas materiais e humanas. Esse fenômeno pode ser desencadeado, entre outros fatores, por alterações inadequadas na geometria de taludes, como cortes que gerem redução da estabilidade. O bairro Linhares, na cidade de Juiz de Fora/MG, apresenta um caso em que, após a execução de obras irregulares de retaludamento em loteamento público, observou-se a formação de talude de corte com indícios de processo erosivo nos dois solos expostos. Buscando nortear os projetos de recuperação da área, o objetivo deste trabalho é executar análises de estabilidade na encosta descrita, para avaliar o estado inicial do talude, a sua condição atual e as alterações na sua condição em função da alteração da geometria por propagação do fenômeno erosivo. Para isso, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas no local. Em laboratório, foram realizados ensaios de caracterização física e de cisalhamento direto para obter, respectivamente, o peso específico, o intercepto coesivo e o ângulo de atrito. Os resultados obtidos foram usados como dados de entrada no software Slope/W, em que são realizadas análises de estabilidade com geometrias que representam possíveis condições do talude. Conclui-se que a estabilidade global do talude é garantida para ângulos menores que 45° e sugere-se medidas de contenção para seções com inclinações maiores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilidade de talude, Ação antrópica, Geometria, Erosão.

**ABSTRACT:** Mass movement is a phenomenon of great interest to geotechnical engineering, especially in urban areas, as it poses a risk of material and human losses. This phenomenon can be triggered, among other factors, by inadequate changes in the geometry of slopes, such as cuts that reduce stability. The Linhares neighborhood, in the city of Juiz de Fora/MG, presents a case in which, after the execution of irregular resurfacing works in a public subdivision, the formation of a cut slope with signs of erosion was observed in both exposed soils. Seeking to guide recovery projects in the area, this study aims to perform stability analyses on the slope described, to evaluate the initial state of the slope, its current condition and the changes in its condition due to the propagation of the erosive phenomena. For this purpose, disturbed and undisturbed samples were collected on site. In the laboratory, physical characterization and direct shear tests were performed to obtain, respectively, the specific weight, the cohesive intercept and the friction angle. The results obtained were used as input in the Slope/W software, in which stability analyses are performed with geometries that represent possible slope conditions. It is concluded that the global stability of the slope is ensured for angles lower than 45° and containment methods are suggested for sections with higher inclinations.

**KEYWORDS:** Slope stability, Anthropogenic action, Geometry, Erosion.



## 1 INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um processo geotécnico de grande relevância, pois está diretamente relacionado a riscos ambientais e sociais decorrentes de deslizamentos. Esses processos são influenciados por diversos fatores, que podem ser classificados como internos ou externos. Entre os internos, destacam-se a geometria do talude e as características físicas e mecânicas dos solos. A interferência antrópica se destaca como um dos principais fatores externos e pode contribuir para a deflagração de desastres por meio de processos erosivos, decorrentes da retirada de vegetação, e por meio de alterações impróprias na geometria de taludes.

A análise de estabilidade é uma ferramenta consagrada que avalia a probabilidade de ruptura de uma encosta, sendo fundamental para subsidiar ações de contenção e reabilitação de áreas degradadas. Para isso, é necessário o conhecimento da geometria do problema, a incidência de possíveis carregamentos externos e as propriedades geotécnicas dos solos. Nesse contexto, ensaios de caracterização física e resistência ao cisalhamento são ferramentas essenciais para a definição de parâmetros confiáveis a serem utilizados em análises de estabilidade.

Na cidade de Juiz de Fora/MG, o bairro Linhares apresenta um caso de obras irregulares em loteamento público, em que é possível observar, tanto alteração na geometria natural do talude, quanto retirada de vegetação e consequente formação de voçoroca. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a estabilidade deste talude por meio da definição do ângulo máximo de inclinação admissível, além de propor medidas de estabilização com base nos resultados obtidos, visando nortear futuras intervenções de políticas públicas no local.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Movimento de massa pode ser definido como deslocamento de porção de solo e/ou material rochoso, onde a ação da gravidade tem papel predominante. Na literatura, esse fenômeno é normalmente associado à instabilidade de encostas. Um talude pode se tornar instável quando as tensões cisalhantes atuantes na massa de solo superam sua resistência ao cisalhamento. Essa condição pode ser provocada por agentes externos, como a intervenção humana, ou por fatores internos, como a redução da resistência do solo (GERSCOVICH, 2016).

Dentre os fatores decorrentes da atividade humana, destacam-se as alterações na rede de drenagem e no uso do solo, como a eliminação da cobertura vegetal, a realização de cortes para abertura de vias, a construção de muros e taludes com dimensionamento inadequado e descarte irregular de resíduos. Essas atividades intensificam os processos erosivos do solo ao facilitarem a desagregação de partículas pela ação do vento e da gravidade, além de ampliarem a infiltração, que aumenta o gradiente hidráulico interno e, consequentemente, o risco de *piping*. Tais processos erosivos podem, por sua vez, desencadear movimentos de massa (MASCARENHA *et al.*, 2015; GERSCOVICH, 2016).

A análise de estabilidade tem como objetivo avaliar a probabilidade de ruptura de uma massa de solo em uma encosta, seja ela natural ou não. Tal probabilidade é expressa pelo Fator de Segurança (FS), que consiste na razão entre a capacidade resistiva do solo e as tensões atuantes sobre o talude. Dois parâmetros fundamentais nessa avaliação são a coesão e o ângulo de atrito. A coesão pode ser definida como a força de atração entre as partículas do solo, enquanto o ângulo de atrito representa a resistência ao movimento relativo entre elas. No Brasil, a NBR 11682 da ABNT (2009) estabelece os critérios e procedimentos mínimos para a avaliação da estabilidade de taludes por meio de valores mínimos de FS a serem adotados em análises. A Tabela 1 apresenta os valores mínimos de acordo com critérios relacionados a perdas humanas e a perdas materiais e ambientais.

Tabela 1. Fatores de Segurança mínimos (Modificado de ABNT, 2009).

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

O estudo de estabilidade de taludes engloba também o processo de contenção e recuperação. Uma das ferramentas para garantir a estabilidade de uma encosta é por meio de obras de contenção, como a construção de muros de arrimo e o retaludamento. Além disso, a implementação de um sistema de drenagem adequado é de grande importância, pois pode contribuir com a diminuição da poropressão no maciço e com a possibilidade de processos erosivos internos. Por fim, a aplicação de vegetação também é uma técnica de impacto positivo, podendo aumentar a resistência do solo a esforços de tração e protegendo o solo da formação de voçorocas (GERSCOVICH, 2016; GERSCOVICH *et al.*, 2019).

### 3 LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em um talude situado na Rua Diva Garcia, no bairro Linhares, zona leste do município de Juiz de Fora/MG, com coordenadas geográficas aproximadas de -21.718166, -43.320805, referenciadas no sistema geodésico WGS84 (World Geodetic System 1984). Segundo informações disponibilizadas pelo Portal de Notícias da Secretaria de Obras da Prefeitura de Juiz de Fora (2024), o terreno foi objeto de um loteamento irregular em área pública, o que resultou em diversos impactos decorrentes da movimentação de terra promovida pelo responsável pelo loteamento. Dentre os danos ambientais e sociais causados pela ação, destaca-se o carreamento de solo, que atingiu a principal via do bairro e comprometeu a rede de águas pluviais. A Figura 1 apresenta uma vista superior da região e a Figura 2 apresenta o talude estudado. Nota-se que ele é composto por uma camada de solo residual maduro de cor amarelada e por uma camada de solo residual jovem de cor rosa, em região de litologia metamórfica complexa. Neste trabalho, o primeiro foi denominado Solo Amarelo e teve amostras coletadas no ponto P2 indicado, enquanto o segundo foi denominado Solo Rosa e teve amostras coletadas no ponto P1 indicado.



Figura 1. Vista Superior do Loteamento Irregular (GOOGLE EARTH, 2025)





Figura 2. Talude de Estudo (AUTORES, 2025)

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Coleta de Amostras Deformadas

As amostras deformadas de solos foram coletadas em dois pontos do talude, na parte inferior onde há a presença do Solo Rosa e na parte superior onde há presença do Solo Amarelo. Posteriormente, foram colocadas em sacos plásticos, identificadas e levadas ao laboratório para realização dos ensaios de caracterização física do solo. Destaca-se que também foram coletadas amostras para análises mineralógicas e químicas que serão realizadas futuramente.

### 4.2 Coleta de Amostras Indeformadas

As amostras destinadas aos ensaios de cisalhamento direto, foram coletadas diretamente in loco utilizando-se de 12 anéis de cravação, com dimensões de 6,0 cm de diâmetro e 2,3 cm de altura. Inicialmente abriu-se uma cava na parte inferior do talude para coleta de amostra indeformada do Solo Rosa e foi feito o nivelamento da superfície na qual os anéis foram posicionados, dessa forma, utilizou-se uma faca para remover o solo próximo ao entorno do anel, permitindo o avanço do mesmo. De forma análoga, na parte superior do talude foram coletadas as amostras indeformadas do Solo Amarelo. Todas as amostras foram embaladas em plástico filme para que fossem levadas ao laboratório preservando a umidade natural do solo. O tratamento das amostras visou à preservação das características naturais do solo, evitando a compressão ou a perturbação notável do material.

### 4.3 Ensaios de Caracterização Física

Para os ensaios de caracterização física do solo, o preparo de amostras foi feito de acordo com a norma NBR 6457 da ABNT (2016a), com opção por secagem prévia da amostra. Deste modo, a determinação do teor de umidade higroscópica foi realizada seguindo o anexo A da norma citada.

Por sua vez, a determinação da densidade real das partículas seguiu a norma ME 093 do DNER (1994). No entanto, em lugar do picnômetro de 50 ml, sugerido pela norma, utilizou-se o picnômetro de 500



ml. Posteriormente, os ensaios de granulometria foram realizados em concordância com a NBR 7181 da ABNT (2016b).

Por fim, os limites de consistência foram determinados de acordo com as seguintes normas: NBR 6459 da ABNT (2016c) para Limite de Liquidez (LL) e NBR 7180 da ABNT (2016d) para Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP).

#### 4.4 Ensaios de Cisalhamento Direto

A metodologia de realização dos ensaios de cisalhamento direto drenado consolidado baseou-se estritamente na norma D3080 da ASTM (2011). Para o solo da parte superior do talude, o Solo Amarelo, foram adotadas as tensões de 25, 50 e 100 kPa, considerando o peso próprio atuante no terreno natural. Já para o solo da parte inferior do talude, o Solo Rosa, foram adotadas as tensões de 50, 100 e 200 kPa, considerando assim, o aumento da camada de solo. Todos os dados de leitura foram obtidos através do software CDREV, desenvolvido pelo técnico Ricardo Gil, da COPPE/UFRJ.

#### 4.5 Análise de Estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas através do software Slope/W, do pacote GeoStudio. O método adotado foi o de Morgenstern-Price com análise feita no modo entrada e saída e com movimento da direita para a esquerda. Considerando que o talude em estudo apresenta variações nos ângulos de inclinação ao longo de sua extensão, foram avaliadas diferentes geometrias de corte, com inclinações variando entre 30° e 70°. Essa abordagem teve como objetivo estudar o comportamento da encosta em diferentes condições de declividade, visando nortear futuras intervenções por parte da prefeitura no local.

O fator de Segurança mínimo a ser considerado para estabilidade do talude levou em consideração duas situações de ocupação da área: (a) recuperação ambiental da área sem permissão de loteamento da terreno; e, (b) regularização do terreno e liberação para loteamento. Para a situação (a), o FS mínimo estabelecido foi de 1,4 considerando a condição de baixo risco à vida humana e alto risco de danos ambientais e materiais. Para a situação (b), o FS mínimo estabelecido foi de 1,5 considerando alto risco à vida humana e alto risco de danos ambientais e materiais.

A geometria da seção do talude foi definida com o auxílio da ferramenta Contour Map Creator, que fornece curvas de nível a partir da seleção de uma área geográfica, usando as bases cartográficas ArcGIS Map, OpenStreetMap, Geocoding e Mapzen.

### 5 RESULTADOS

#### 5.1 Ensaios de Caracterização Física

Os resultados de caracterização física, bem como a classificação do solo em função do diâmetro das partículas, de acordo com a NBR 6502 da ABNT (2022), estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da caracterização física (AUTORES, 2025)

Propriedade	Solo Rosa	Solo Amarelo
Densidade real dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,529	2,402
Limite de liquidez (%)	32	42
Limite de plasticidade (%)	30	33
Índice de plasticidade (%)	2	9
Classificação granulométrica		
Argila (%)	18	49
Silte (%)	27	18
Areia (%)	55	32
Pedregulho (%)	0	1

Segundo a classificação granulométrica, o Solo Rosa é classificado como areia silto-argilosa. Já o Solo Amarelo, pode ser classificado com argila areno-siltosa. De acordo com o Sistema de Classificação Unificada dos Solos (SUCS) para solos finos, a amostra de Solo Rosa analisada é classificada como areia

siltosa (SM), enquanto a amostra de Solo Amarelo pode ser classificada como argila de baixa plasticidade (ML).

## 5.2 Resistência ao Cisalhamento Direto

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto foram analisados para obter dados acerca da resistência drenada consolidada do solo. A interpretação destes resultados levou em consideração a dissipação de poropressão, que é característica da condição drenada nos ensaios de cisalhamento direto.

Definiu-se uma reta de tendência através do gráfico de (Tensão Cisalhante/Tensão Normal) que demonstra a tendência do comportamento do solo, envoltória de resistência, utilizada para obter o ângulo de atrito e o intercepto coesivo. As Figura 3 e 4 apresentam as envoltórias para os solos amarelo e rosa, respectivamente, enquanto a Tabela 3 mostra os valores calculados para os parâmetros de resistência.

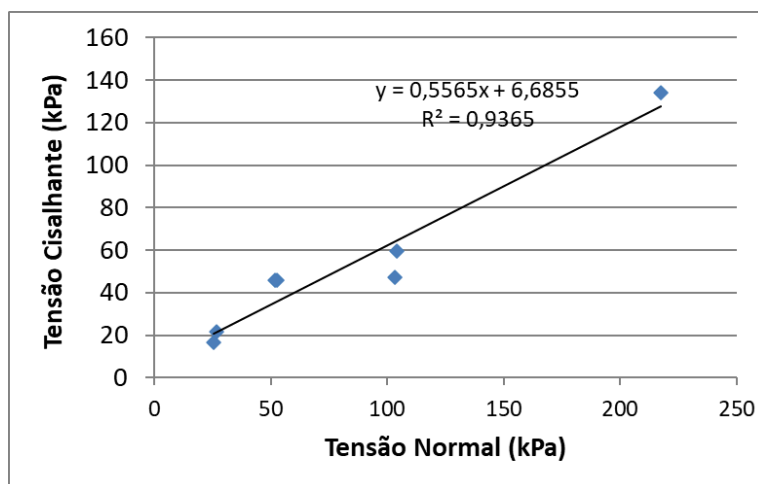


Figura 3. Envoltória de resistência para o Solo Amarelo (AUTORES, 2025)

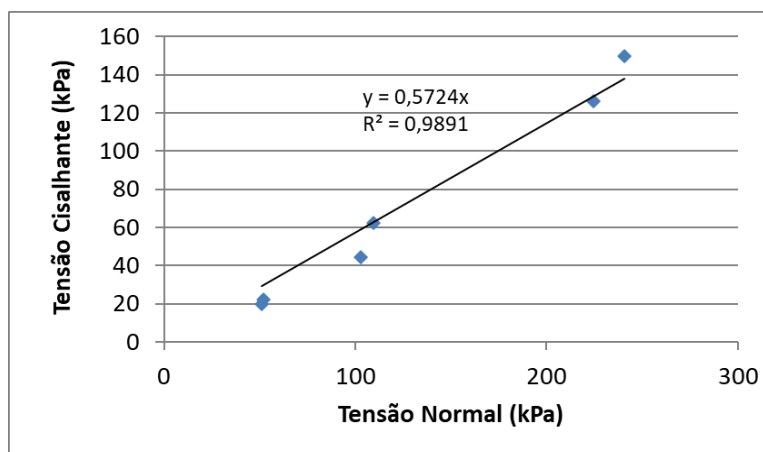


Figura 4. Envoltória de resistência para o Solo Rosa (AUTORES, 2025)

Tabela 3. Ângulo de atrito e intercepto coesivo (AUTORES, 2025)

	Solo Amarelo	Solo Rosa
Ângulo de atrito (°)	26,1	29,8
Intercepto coesivo (kPa)	6,7	0

A análise comparativa entre as envoltórias evidenciou uma ligeira diferença entre os ângulos de atrito dos solos rosa e amarelo. Os valores do intercepto coesivo demonstraram valores típicos para ambos os

solos, sendo igual a 0 kPa para Solo Rosa (predomínio de areia) e igual a 6,7 kPa para o Solo Amarelo (predomínio de argila).

### 5.3 Análise de Estabilidade

A Tabela 4 relaciona os valores do Fator de Segurança global com a variação dos ângulos de inclinação do talude entre 30° e 70°. De acordo com os critérios estabelecidos para o FS mínimo no presente trabalho, o ângulo máximo do talude seria de aproximadamente 46° para a situação (a) e 50° para a situação (b). De forma a definir um valor máximo que atenda às duas situações e facilite a execução de intervenções, indica-se a adoção de 45° como o limite máximo de inclinação para o talude. A Figura 5 apresenta a análise de estabilidade executada para a inclinação de 45°, apresentando um Fator de Segurança de 1,530.

Tabela 4. Fatores de Segurança obtidos para cada ângulo de inclinação do talude (AUTORES, 2025)

Ângulo de inclinação	Fator de Segurança
30°	2,107
35°	1,866
40°	1,677
45°	1,530
50°	1,411
55°	1,312
60°	1,227
65°	1,156
70°	1,094

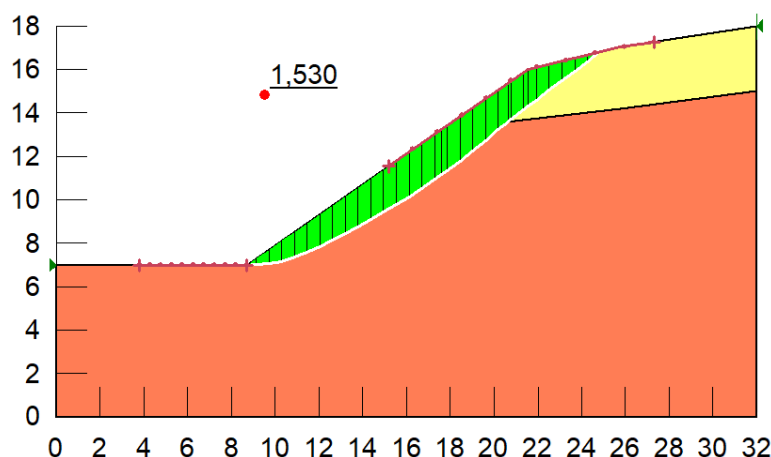


Figura 6. Fator de Segurança para inclinação de 45° (AUTORES, 2025)

## 6 CONCLUSÃO

No local de estudo foram identificados dois tipos de solo, aqui chamados de Solo Amarelo e Solo Rosa. Os ensaios de caracterização física concluíram que o Solo Amarelo pode ser classificado como argila areno-siltosa, enquanto o Solo Rosa é classificado como areia silto-argilosa. Os ensaios de cisalhamento resultaram em valores de intercepto coesivo típicos para ambos os solos, sendo igual a 6,7 kPa para o Solo Amarelo e 0 kPa para o Solo Rosa. Os valores do ângulo de atrito encontrados foram iguais a 29,8° e 26,1° para os solos Amarelo e Rosa, respectivamente.

A realização do estudo evidenciou que, nas condições atuais, após a interferência antrópica, a estabilidade global do talude de estudo não foi comprometida, sendo possível, considerar a adoção de ângulo máximo de inclinação de até 45° em futuras intervenções. No entanto, observou-se que essa interferência expôs camadas de solo altamente erosivas, o que resulta no carreamento de partículas finas e na formação de





sulcos. Essa condição, se mantida, pode evoluir para processos erosivos mais severos, comprometendo gradualmente a estabilidade global da encosta.

Diante desse cenário, torna-se imprescindível a adoção de medidas de proteção superficial, com a execução de revestimento vegetal, como, por exemplo, a hidrossemeadura. Além disso, é fundamental a implantação de drenagem superficial tanto na crista quanto na base do talude, de forma a captar e conduzir adequadamente as águas pluviais, minimizando o fluxo sobre a superfície do solo.

Com os resultados obtidos, sugere-se a realização de novos estudos que considerem o efeito de sucção e infiltração de água na análise de estabilidade em condições de eventos de chuvas intensas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFJF pelas bolsas de Iniciação Científica VIC e BIC/UFJF, concedidas ao projeto “Influência da forma de precipitação na estabilidade de talude em solo não saturado” sob coordenação da autora Tatiana Tavares Rodriguez.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016a). NBR 6457. *Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016b). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016c). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016d). NBR 7180. *Solo — Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502. *Solos e rochas – Terminologia*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). ME 093. *Solos – Determinação da densidade real*. Rio de Janeiro.
- Gerscovich, D. M. S. (2016). *Estabilidade de taludes* (2ª ed.). São Paulo: Oficina de Textos, 192 p.
- Gerscovich, D. Danziger, B. R., Saramago, R. (2019) *Contenções: Teoria e aplicações em obras* (2ª ed.). São Paulo, SP: Oficina de Textos, 320 p.
- Google Earth. (2018) *Programa Google Earth*, versão 7.3.2.
- Mascarenha, M. M. A., Mahler, C. F., Lafayette, K. P. V., Nacinovic, M. G. G., Bandeira, A. P. N., Almeida, J. G. R. (2015) Erosão. In: Carvalho, J. C., Gitirana Júnior, G. F. N., Machado, S. L., Mascarenha, M. M. A., Silva Filho, F. C. Solos não saturados no contexto geotécnico, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, SP, Brasil, p. 581-612.
- Prefeitura de Juiz de Fora. (2024) *Prefeitura inicia intervenções no loteamento irregular no Linhares*. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&idnoticia2=82820> . Acesso em: 8 jul. 2025.