

O uso de geotêxtil para o controle de drenagem de água de superfície - A solução utilizada para fechamento adequado de uma pilha estéril.

Christ Jesus Barriga Paria

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, cjbarriga_87@hotmail.com

Hernani Mota de Lima

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, hernani.lima@ufop.br

RESUMO: Existem obras para conduzir as águas superficiais, com as quais se pode controlar o fluxo hídrico como são os canais de derivação. Precisa-se de um análise de precipitações, que estime as magnitudes e intensidades destas em curtos períodos tempos que incidam diretamente na superfície das obras a construir. Com esta informação e os detalhes topográficos do terreno pode-se determinar o escoamento superficial crítico que sobre as estruturas e projetar os canais de derivação necessários a uma boa drenagem da mesma. Para o desenvolvimento deste estudo, a área da bacia de captação deve ser determinada, o escoamento superficial e a vazão de escoamento nas estruturas de drenagem, os coeficientes de escoamento e demais critérios essenciais para a seleção. Os processos hidrológicos existentes na mina exatamente sob as áreas das pilhas de estéril, componente do plano de fechamento, são, em sua maioria, fluxos do tipo escoamento turbulento dados as inclinações das mesmas. As precipitações são mais frequentes entre os meses de dezembro e abril, às vezes como uma mistura de chuva e granizo, e nos meses mais frios apresenta-se uma neve sutil que, de um modo geral, não acumula na superfície do solo, mas escoar em poucas horas. Tem-se uma estimativa de precipitações que varia máximo 176.6 mm e mínimo 21.4 mm. Como solução preliminar, para fins de fechamento da pilha de estéril) foi apresentado uma proposta de uma consultoria de canalização em concreto para escoar as águas de chuva e de derretimento de neve. Recusada esta proposta visto que não seria factível sua construção optou-se, portanto, pela construção de canais ao longo da face dos taludes, os quais foram protegidos por um geosintético, que depois de um período de tempo, pelas suas propriedades, este se degrada naturalmente deixando a zona do canal resistente a posteriores processos erosivos causados pela precipitação e pelo escoamento. Dados de monitoramento dos últimos quatro anos tem demonstrado o sucesso da aplicação de geosintético nos canais de drenagem superficial, para controle da erosão e garantia da estabilidade física em longo prazo para fins de fechamento das pilhas de estéril. Este estudo demonstra a aplicabilidade e a efetividade do uso de geosintéticos para fins de minimização dos processos erosivos causado por águas superficiais e a garantia da estabilidade física em longo prazo para outras estruturas de mina com taludes suaves, bem como a aplicação do geotêxtil para correção de taludes com processo erosivo em curso.

PALAVRAS-CHAVE: estabilidade, geotêxtil, pilhas de estéril.

1 INTRODUÇÃO

Há trabalhos de controle de águas de superfície, tais como os que regulam o fluxo de água, tais como canais de desvio. O desenho dessas obras requer a análise das precipitações, que considere magnitudes e intensidades das precipitações em pequenos períodos de tempo pequenos que afetam diretamente as dimensões dos trabalhos de construção. Com essas informações e os detalhes dos dados do terreno se faz a determinação do escoamento que deverá controlar cada obra de conservação e do escoamento crítico, tendo, assim, a concepção de um canal de diversão capaz de transportar ou mantê-la em parte.

Para o desenvolvimento deste estudo se determinou a superfícies das áreas de impluvio, o escoamento da água de superfície e os fluxos de canal nos canais. Critérios essenciais para a seleção dos trabalhos a serem usados. A coleta de dados de campo e antecedentes de precipitação recorde para o desenho de canais foram obtidos da topografia da mina e da estação meteorológica mais próxima chamada CP.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado em uma mina de minério de ouro, especificamente em um depósito controlado de estéril ou comumente chamado de pilha de estéril.

A mina está localizada geograficamente na serra central do Peru, fica a aproximadamente a uns 464 km de distância da capital do Estado Peruano e tem uma altura de próxima de 4,419 metros acima do nível do mar. A área de estudo compreende uma área de 305,79 hectares.

Realizou-se um análise de precipitação e análise de frequência, estes procedimentos estão baseados em adotar um modelo probabilístico, que representa de forma satisfatória o comportamento da variável. Para estudar foi adotada a distribuição Gumbel com a informação da estação CP de precipitações máxima em 24 horas. Os parâmetros estatísticos dos dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros Estatísticos dos dados.

Número de dados	58,00
Mínimo	20,70
Máximo	50,00
Media	32,20
Desvio Padrão	7,38
Mediana	30,00
Coeficiente de Variação (Cv)	0,23
Coeficiente de Assimétria (Cs)	0,56
Coeficiente de Curtosis (Ck)	2549

Para a determinação da distribuição de probabilidade tem se usado o modelo do HYFRAN (Hydrologic Frequência Anlysis). HYFRAN foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Científica - Água, Terra e Meio Ambiente (INRS-ETE), da Universidade de Québec patrocinado pela Hydro-Québec.

HYFRAN é um software que permite ajustar os dados a leis estatísticas incluindo um conjunto de ferramentas matemáticas, poderosas, acessíveis e flexíveis que permitem inclusive a análise estatística de eventos extremos e de forma mais geral a análise estatística de séries de dados.

A partir dos dados originais, podemos obter a distribuição de probabilidade de não-excedência contra precipitação. A fórmula empírica de probabilidade utilizada foi Gringorten.

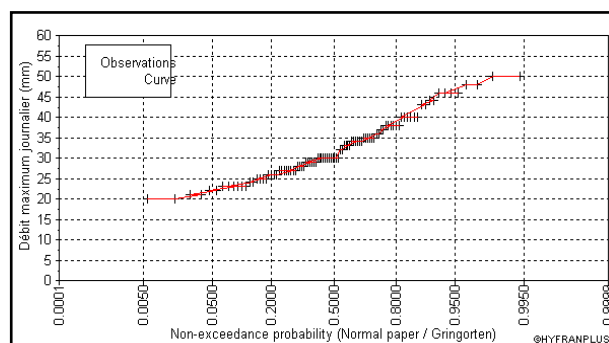


Figura 1. Distribuição de probabilidade não-excedência – Estação CP.

Em seguida, se realizou uma análise de frequência, através da distribuição de Gumbel Tipo I. Esta distribuição também é chamado de Tipo I extremo valor com base em dados máximas extremas. A função densidade de

probabilidade para a distribuição de função valor extremo tipo I é:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right] \quad (1)$$

Onde α : é o parâmetro de escala, e μ : é o parâmetro de posição, também chamado de o valor central ou moda. A partir dos resultados do programa de HYFRAN, os parâmetros da função Gumbel são: $\mu = 28,72$ e $\alpha = 6,09$. Na Figura 2 se mostra os dados analisados e a função de probabilidade para um intervalo de confiança de 95% de probabilidade. Pode-se concluir que não há uma definição de gráfico que está dentro dos limites de confiança.

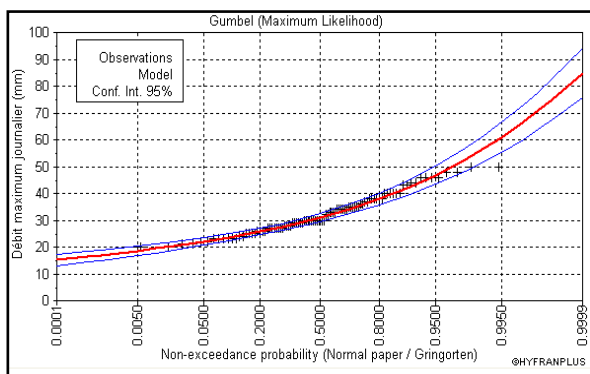


Figura 2. Distribuição de probabilidade não-excedência – Estação CP

O dimensionamento dos trabalhos de canalização foi associado com um período de duração, considerando-se que as obras estão inseridas em áreas onde está localizada a mina. Para o sustento hidrológico se recomenda o dimensionamento das obras para um período de retorno de 200 anos, entendido período de retorno como o intervalo médio de tempo dentro do qual determinada magnitude ou intensidade de chuva igual ou superior a uma vez. A Tabela 2 apresenta a precipitação máxima em 24 horas usando uma distribuição Gumbel com diferentes períodos de retorno.

Tabela 2: Precipitação versus Tempo de Retorno

Tempo de Retorno	Precipitação
(anos)	(mm)
2	31295
20	48773
200	64384
400	69045
1000	75201

São necessários os valores estimados de magnitudes e intensidades por curtos períodos de tempo (geralmente igual ou menor do que 1 hora), pois tem um impacto direto sobre a contribuição máxima de escoamento que devem suportar os canais para o sistema de drenagem.

Conhecida a precipitação em 24 horas ($P_{\max}$) associados a um período de retorno (R) se determina a magnitude e intensidade da precipitação, por um tempo t, com o mesmo período de Retorno (R) a partir do método de Dick e Peschke.

Para a área de estudo é tomado como referência registra a maior precipitação de estação CP, devido à sua proximidade com a área de estudo. A ocorrência de eventos hidrológicos extremos no local da mina poderia gerar precipitação máxima 24 horas de 64,38 milímetros para 200 anos período de retorno, e 70,54 milímetros para 500 anos.

Para a concepção do sistema de drenagem, que é preciso para calcular a intensidade de precipitação de muita curta duração (menos de 1 hora), a partir da precipitação máxima de 24 horas, uma vez que causam o escoamento máximo a ser mais intenso e mais facilmente ultrapassar taxa de infiltração do solo.

Quando as características de escoamento e drenagem tipo requerem a estimativa da intensidade de menos de 10 minutos de precipitação, os critérios adotados pela duração de 10 minutos, o que, como indicado pela CISMID (1984), este critério é aplicado na proteção de taludes de estradas de Japão. Para calcular a precipitação máxima associada com a duração de 10 minutos, a fórmula de Dick e Pescke foi aplicada:

$$P_D = P_{24 \text{ hr}} \left(\frac{D}{1440} \right)^{1/4} \quad (2)$$

Onde:

P_D : Precipitação total em mm para a

Duração: D

P_{24hr} : Precipitação máxima em 24 horas

D : Duração (minutos)

A intensidade é determinada dividindo o P_D precipitação entre a duração D, expressa em mm / h.

Áreas coletoras de drenagem da cabeça da pilha de estéril e do seu próprio talude, produzido em tempo de concentração de precipitações muito curto, o que representa valores muito altos de intensidade, este critério será aplicado no nosso caso ser reduzida através da recolha de áreas.

Assim, para um período de retorno de 200 anos teria uma P_D de 18,58 milímetros, com uma duração de 10 minutos e uma intensidade de 111,52 mm/hora.

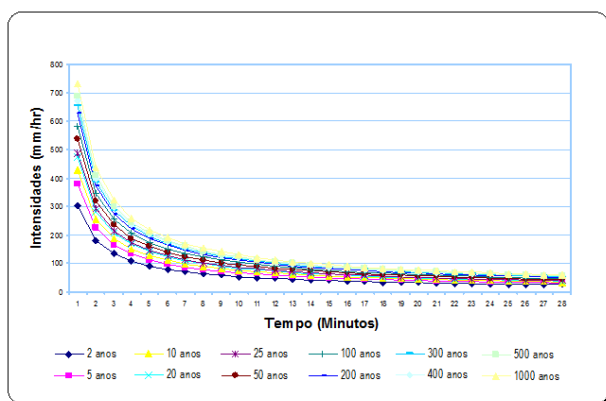


Figura 3. Intensidade versus Tempo

Tabela 3: Método de Dick y Peschke para Precipitação em Diferentes Períodos De Retorno

T (min)	D (horas)	R=2	R=20	R=100	R=200
1,00	0,02	304,82	475,05	581,62	627,11
2,00	0,03	181,25	282,47	345,84	372,88
3,00	0,05	133,72	208,4	255,15	275,11
4,00	0,07	107,77	167,96	205,64	221,72
5,00	0,08	91,16	142,07	173,95	187,55
6,00	0,1	79,51	123,92	151,72	163,58
7,00	0,12	70,83	110,39	135,15	145,72
8,00	0,13	64,08	99,87	122,27	131,83
9,00	0,15	58,66	91,42	111,93	120,69
10,00	0,17	54,2	84,48	103,43	111,52
11,00	0,18	50,47	78,65	96,29	103,82
12,00	0,2	47,28	73,68	90,21	97,26
13,00	0,22	44,52	69,39	84,95	91,6
14,00	0,23	42,12	65,64	80,36	86,65
15,00	0,25	39,99	62,33	76,31	82,28
16,00	0,27	38,1	59,38	72,70	78,39
17,00	0,28	36,41	56,74	69,47	74,9
18,00	0,3	34,88	54,36	66,56	71,76
19,00	0,32	33,49	52,2	63,91	68,91
20,00	0,33	32,23	50,23	61,5	66,31

2.2 Projeto de Canais para Sistema de Drenagem

Um canal tem de ser capaz de canalizar a água descarregada em ele, causadas do máximo escoamento que pode acontecer na área de contribuir para um dado tempo, o escoamento crítica. Por isso se determinaram diferentes áreas de impluvio na mina.

2.2.1 Áreas Naturais impluvio e Drenagem de Água

A área de impluvio é a superfície de captação de água da chuva que contribui diretamente para o trabalho em questão. Isto é, a superfície é fornecer a água para ser evacuada pela construção dos canais. Para determinar o traço dos canais, se fez uma simulação no ArcHidro tools do ArcGIS 9.2 para determinar o fluxo natural da água da chuva, uma vez identificado o fluxo natural da água passou a determinar as áreas de impluvio nos traços dos canais.

Para estimar as vazões do estudo, deve ser realizada uma limitação das áreas de influência

ou impluvio respectivas, ambos os canais de coroação como para os canais básicos. No mapa de áreas se mostram as áreas utilizadas para estimar a vazão do projeto dos canais.

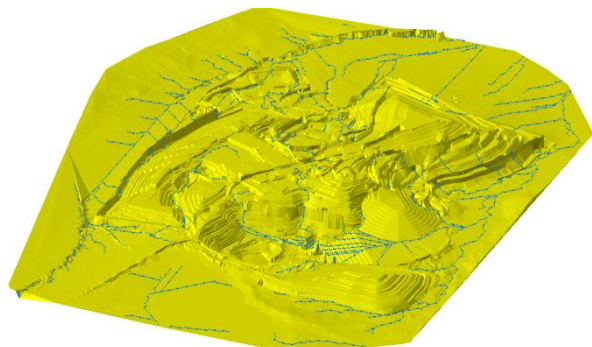


Figura 4. Modelado Digital do Terreno e Drenagem Natural do Escoamento

2.2.2 Tempo de Concentração

O tempo de concentração é um dos principais parâmetros da bacia que representam o tempo de resposta de um sistema de escoamento de precipitação. A precisão da estimativa do volume máximo de descarga ou hidrograma é sensível à precisão do tempo de concentração.

O tempo de concentração mede o tempo que leva para que toda a bacia contribua para o escoamento. Existem modelos comumente empíricos para estimar o tempo de concentração tendo em conta fatores como a área e inclinação. Para sua determinação se formulou pelo método de Kirpich.

$$T_c = 0,06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (3)$$

Onde:

T_c = Tempo de concentração em horas
 L = Comprimento da pista principal no km
 S = Inclinação entre altitudes máxima e mínima do canal em m/m.

Tabela 4: Dados dos Canais

Traço	Long. (Km)	Inclin.	Tempo de Concentra. (min.)
A-B (0+000-0+640)	1.10	0.02420	17.901
A-B (0+640-0+940)	1.30	0.01405	25.102
A-B (0+940-1+570)	0.63	0.03576	10.028
A-B (1+570-2+200)	0.73	0.10282	7.479
C-D (0+000-0+440)	0.44	0.04957	6.708
C-D (0+440-1+220)	0.78	0.03063	12.547
C-D (1+220-1+744)	0.52	0.03948	8.376
F-E (0+000-0+360)	0.36	0.00636	12.670
F-E (0+360-1+160)	0.80	0.00188	37.502
F-E (1+160-1+578)	0.42	0.02751	8.088

Conhecido o tempo de concentração (T_c) para o canal do projeto, deve-se obter o valor de intensidade crítica (I) para o cálculo da vazão do projeto, com um tempo t igual ao tempo de concentração T_c .

2.2.3 Vazão do Projeto

Conceitualmente, para pequenas bacias de áreas menores do que 250 km^2 é aplicável a fórmula racional, tendo em conta a intensidade produzida por precipitação extrema correspondente a um período de retorno de 200 anos. O escoamento deve evacuar o canal de desvio dependerá de:

- A intensidade máxima de chuvas que podem ocorrer em um período e tempo determinado.
- Características das vertentes (declividade, cobertura do solo, solo, etc.).
- Extensão do talude (área de impluvio).

2.2.4 Coeficiente de Escoamento

Segundo Monsalve (1999), o coeficiente de escoamento é definido como a razão entre o volume total de escoamento e a quantidade total de precipitação, num intervalo de tempo determinado. No entanto, Chow (1994) demonstrou que o coeficiente de escoamento superficial (C) é a variável menos precisa para o cálculo da vazão de projeto.

O presente estudo foi tomado como o valor do coeficiente de escoamento de $n = 0,60$ que

corresponde a grana impermeável com uma inclinação média de 50%, onde cada componente apresentar sua cobertura final.

2.2.5 Vazão de Projeto por Componente

O cálculo hidrológico para determinar o escoamento superficial na mina, para estabelecer o dimensionamento das obras lineares e não-lineares foram realizadas para um período de retorno de 200 anos, assumindo um risco de falha de 10% e um tempo de vida sistema de drenagem 50. Na Tabela 5 se mostra os valores obtidos a partir da fórmula racional é mostrada abaixo:

$$Q = \frac{A \cdot C \cdot I}{360} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão em m³/s

A = área de captação em Há

I = intensidade do design em mm/h

Tabela 5: Lista de componentes e de taxa de cálculos de escoamento mostrados

Traço	Coef. de Escoam.	Intensidade máxima do projeto (mm/hr)	Q proj (m3/s)
A-B (0+000-0+640)	0.60	62.81	0.74
A-B (0+640-0+940)	0.60	55.92	0.31
A-B (0+940-1+570)	0.60	111283	1.39
A-B (1+570-2+200)	0.60	138.65	3.13
C-D (0+000-0+440)	0.60	150.45	0.93
C-D (0+440-1+220)	0.60	94.07	1.00
C-D (1+220-1+744)	0.60	127.37	1.53
F-E (0+000-0+360)	0.60	93.38	0.28
F-E (0+360-1+160)	0.60	41.38	0.31
F-E (1+160-1+578)	0.60	130.75	1.54

2.2.6 Especificações Técnicas do Projeto do Canal

É importante para a determinação da inclinação do canal, que elas sejam adequadas para cada tipo de solo, de modo que o canal não se desintegrar (Zinf. - Zsup). Para o presente estudo, uma inclinação de Z = 1 por apresentar

uma área de revestimentos de argila e material de cobertura orgânico.

Para o curso do canal ou do sistema de canais foi preciso recolher as seguintes informações básicas: mapas topográficos, levantamentos geológicos, tipos de solo. Depois de obter os dados necessários, procedeu-se a trabalhar em dar uma linha gabinete preliminar, que foi reconsiderada no campo onde os ajustes necessários são feitos, finalmente, obter o traço final. Outro ponto de consideração foi a rugosidade, isto depende do canal e declive, dado as paredes laterais da mesma, irregularidade e traçado do canal.

No caso dos canais com revestimento de concreto dentro da Pilha de estéril o tempo de concentração do escoamento teria variado entre 8 min. a 12 min. como máximos nos canais nas crestas de despejo também base canal desta componente tem um tempo máximo de concentração de 25 min. Para estimar as vazões do projeto trabalhou-se com um período de retorno de 200 anos e com uma intensidade de concentração de acordo com os tempos encontrados por seções de canal.

Tabela 6: Lista de dados hídricos para construção dos canais

Trecho	Radio Hidráu.	Tirante Normal (m)	Área Hidráu. (m ²)	Veloc. (m/s)
A-B (0+000-0+640)	0.24	0.46	0.44	1.64
A-B (0+640-0+940)	0.17	0.28	0.22	1.38
A-B (0+940-1+570)	0.31	0.63	0.71	1.93
A-B (1+570-2+200)	0.43	0.96	1.40	2.22
C-D (0+000-0+440)	0.26	0.52	0.53	1.74
C-D (0+440-1+220)	0.27	0.54	0.56	1.77
C-D (1+220-1+744)	0.30	0.86	0.75	2.03
F-E (0+000-0+360)	0.15	0.44	0.19	1.44
F-E (0+360-1+160)	0.16	0.45	0.20	1.48
F-E (1+160-1+578)	0.30	0.86	0.75	2.03

Mas de acordo com essas especificações de fazer um canal de concreto dessas dimensões em uma cresta tem se optado pelo uso de geotêxtil com as propriedades mecânicas de resistência ao rasgado de 289 N, resistência ao punzonado CBR 1736 N, propriedades hidráulicas com taxa de fluxo 6722 l/min/m², propriedades físicas como espessura de 1.0 mm e peso de 163 g/m² dede acordo com a ASTM.

3 ANALISE DOS RESULTADOS

De acordo com essas especificações de fazer um canal de concreto dessas dimensões em uma cresta tem se optado pelo uso de geotêxtil com as propriedades mecânicas de resistência ao rasgado de 289 N, resistência ao punzonado CBR 1736 N, propriedades hidráulicas com taxa de fluxo 6722 l/min/m², propriedades físicas como espessura de 1.0 mm e peso de 163 g/m² de acordo com a ASTM, possui propriedades hidráulicas, físicas e mecânicas que garantem o melhor desempenho e durabilidade quando o produto é utilizado para drenagem, como é apresentado nas Figuras 5 e 6.



Figura 5. Vista de um canal instalado em talude com geotêxtil.



Figura 6. Vista de um canal em talude com geotêxtil em funcionamento durante o período de chuvas e presença de neve.

4 CONCLUSÕES

A opção por geotêxtil foi adotado ao invés dos canais de concreto, devido às melhores opções que oferece, tais como:

- Uma proteção e reforço mais técnico e amigável, que consiste na prevenção ou mitigação de danos locais do canal na melhoria das propriedades mecânicas do solo.
- A filtração, isto é, uma boa retenção do solo ou de outras partículas sujeitas a forças hidrodinâmicas permitindo a passagem de líquidos através do geotêxtil;
- A drenagem, a qual envolve a recolha e o transporte das águas pluviais.
- Por razões ambientais (estética visual e degradação natural em longo prazo, com a criação de um canal semelhante a um natural minimizando custos com manutenção)



Figura 7. Vista da Pilha de Estéril em processo de restauração, com canais com uso de geotêxtil.

Sua relativa rapidez para a montagem do geotêxtil nos canais de talude, o converte em uma alternativa atrativa, especificamente quando acontecer imprevistos.

REFERÊNCIAS

- ASTM: American Society for Testing and Materials. D4595–11: *Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*. West Conshohocken, PA, 2011, 13 p.
- Chow, V. T.; Maidment, D. R. e Mays, L.W. (1994) *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill Interamericana. Santa Fe de Bogotá. 584 p.
- Monsalve Sáenz, G. (1999) *Hidrología en la Ingeniería*. 2nd ed., Alfaomega, Colombia, 358 p.
- CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. *Manual de protección de taludes* por Asociación de Carreteras del Japón. Universidad Nacional de Ingeniería, Peru, 1984, 317 p.