

## Sumário Executivo

### Classificação de Estabilidade de Escombrelras e de Pilhas e Sistema de Classificação de Perigos

A estrutura do novo sistema Classificação de Estabilidade de Escombrelras e Sistema de Classificação de Risco (WSRHC) requer a avaliação de atributos e fatores-chave que afetam a estabilidade. Estes fatores foram organizados em sete grupos. São atribuídas a cada fator classificações numéricas, e a soma destas define a classificação de estabilidade da escombrelra e da pilha (WSR). O valor máximo possível para o WSR é 100, sendo uma classificação elevada indicativa de uma configuração mais estável. Os valores de WSR foram subdivididos em diversas classes de perigo de escombrelras e de pilhas (WHCs). As escombrelras e pilhas com uma classificação WSR elevada (superior a 80) estão designadas como WHC I e são caracterizadas por um potencial relativamente muito baixo de instabilidade (isto é, um perigo de instabilidade muito baixo). Por outro lado, escombrelras e pilhas, com uma classificação WSR muito baixa (inferior a 20) são designadas de WHC V e são caracterizadas por apresentarem um potencial de instabilidade relativamente muito elevado (isto é, um perigo de instabilidade muito alto). A Figura 1, abaixo, sumariza a estrutura de classificação de estabilidade de escombrelras e de pilhas e o sistema classificação de risco (WSRHC).

Os consultores Piteau Associates, especializados em serviços de consultoria geotécnica e de gestão de águas e ambiental para a indústria mineira, conduziram uma avaliação independente do projeto conceptual proposto de escombrelras apresentado pela Knight Peisold. É apresentado abaixo um resumo do processo de avaliação.

### Enquadramento Regional

A categoria do Enquadramento Regional (Tabela 1) inclui fatores relacionados com a localização geográfica e condições climáticas do projeto. Os fatores-chave nesta categoria são a sismicidade e a precipitação. Outros fatores regionais/climáticos, tais como temperatura, humidade e velocidade/direção do vento, também podem ser importantes para o desenho das escombrelras e pilhas (por exemplo, para otimizar a supressão de poeira e a gestão de neve e avalanches), mas não afetam a estabilidade (por exemplo, o vento) ou são considerados indiretamente noutros grupos. Por exemplo, ambientes quentes e húmidos podem acelerar a degradação das escombrelras ou pilhas e ter impacto nos fatores de Estabilidade Química, Resistência Intacta e Durabilidade no grupo Qualidade do Material, e o congelamento prolongado pode afetar o fator *Permafrost* (camadas de congelamento perene do subsolo) nos grupos de Condições da Fundação e Qualidade do Material. Coletivamente, os fatores do enquadramento regional são ponderados para representar um máximo de 10 pontos, ou 10% do máximo possível do WSR.

### Sismicidade

É geralmente aceite na comunidade geotécnica que na conceção de determinados tipos de aterros de terra e de enrocamento, como barragens de retenção de água e barragens de rejeitados, deve-se ter em consideração o impacto potencial de sismos, e este princípio consta na maioria dos códigos mineiros do mundo.

A classificação de sismicidade é avaliada de acordo com a aceleração no solo esperada no projeto. Dois critérios alternativos ou complementares são fornecidos com base nos critérios de projeto sísmico geralmente utilizados: a aceleração de pico esperada do solo com base no evento sísmico do período de retorno de 475 anos (também equivalente à aceleração de solo esperada com uma probabilidade de excedência de 10% em 50 anos), e a aceleração máxima do solo devido ao Sismo Máximo Credível. Os valores destes parâmetros para um determinado local devem ser definidos em

estudos de risco sísmico que são realizados habitualmente para apoiar o desenho conceptual dos componentes civis da mina ou como parte integrante do projeto conceptual da barragem de rejeitados. Algumas jurisdições e agências governamentais também fornecem mapas e/ou sites interativos que podem ser utilizados para estimar estes valores num determinado local (por exemplo, GSHAP 1999; NRC 2013; USGS 2015).

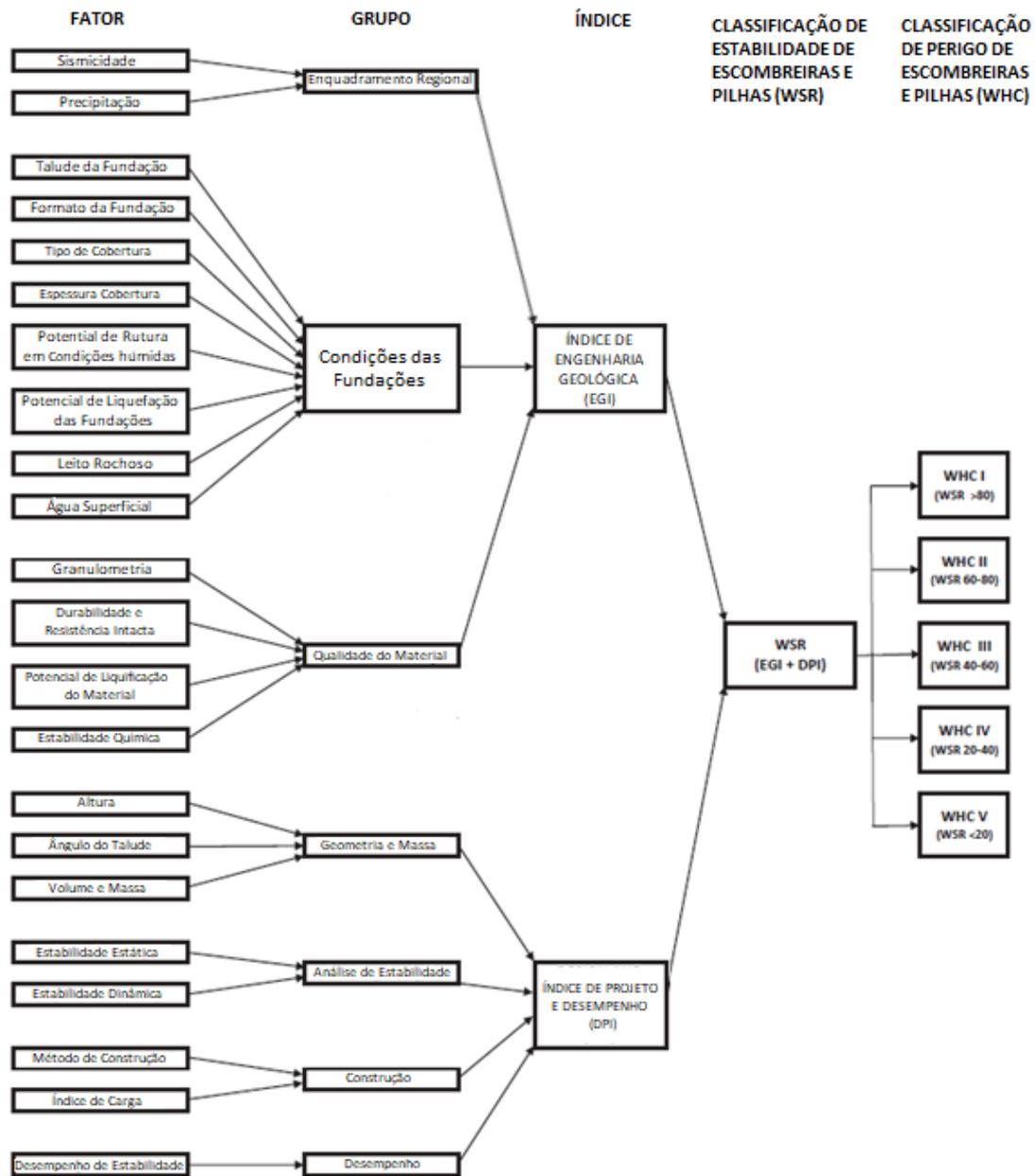


Figura 1: Estrutura de classificação de estabilidade de escombreliras e de pilhas e sistema classificação de risco (WSRHC)

O fator de sismicidade tem uma classificação máxima de 2 pontos, ou 2% da máxima WSR possível. Este peso individual relativamente baixo reflete o impacto limitado que a sismicidade tem sobre a estabilidade das escombreliras e das pilhas. Deve-se notar, no entanto, que os impactos potenciais do sismo também são incluídos indiretamente na avaliação do potencial de liquefação nos grupos Condições Fundamentais e Qualidade do Material e diretamente na avaliação do fator de estabilidade

dinâmica geral no grupo Análise de Estabilidade. Quando todos estes fatores são considerados coletivamente e, dependendo das circunstâncias específicas do local, a alta sismicidade pode ter um impacto significativamente negativo no WSR.

Tabela 1: Fatores da categoria Enquadramento Regional



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
Sismicidade	Muito Alta	Alta	Moderado	Baixa	Muito Baixa
Aceleração de Pico do Solo Esperada (g): Baseado num Período de Retorno de 475 Anos / 10% Probabilidade de Excedência em 50 Anos	>0.4	0.2-0.4	0.1-0.2	0.05-0.1	<0.05
Aceleração de Pico do Solo Esperada (g): Baseada no Sismo Máximo Credível (SMC)	>0.6	0.4-0.6	0.2-0.4	0.1-0.2	<0.1
Classificação	0	0.5	1	1.5	2
Precipitação	Muito Alta	Alta	Moderado	Baixa	Muito Baixa
Precipitação Média Anual: Chuva (mm)	>2000	1000-2000	350-1000	100-350	<100
Precipitação Média Anual: Queda de Neve (cm)	>200	100-200	35-100	10-35	<10
Precipitação Total Anual: Equivalente a Chuvas (mm)	>2000	1000-2000	350-1000	100-350	<100
Classificação	0	2	4	6	8
<b>CLASSIFICAÇÃO DO ENQUADRAMENTO REGIONAL<sup>2</sup></b>	<b>Classificação Máxima Possível:</b>				<b>10</b>

### Precipitação

As escombrelas e as pilhas construídas em ambientes húmidos têm uma incidência maior de ruturas e tendem a não ter um desempenho tão bom quanto aqueles construídos em ambientes áridos. O Fator de Precipitação é classificado com base em precipitação anual equivalente, incluindo queda de neve. Reconhece-se que a precipitação anual total por si só não é suficiente para descrever o impacto potencial da precipitação na estabilidade de escombrelas e pilhas. Os locais sujeitos a fortes variações sazonais (estação chuvosa/monção) com períodos de chuvas intensas ou eventos de *rain-on-snow* durante períodos de inundações que resultam do degelo rápido da neve e elevado escoamento superficial instantâneo, são provavelmente mais suscetíveis à instabilidade relacionada com a precipitação do que aqueles que recebem um nível anual igual de precipitação distribuído uniformemente ao longo do ano. Para locais sujeitos a eventos de elevada intensidade de chuva ou de escoamento, a classificação de Precipitação deve ser reduzida 1 ponto.

O Fator de Precipitação tem uma classificação máxima de 8 pontos, ou 8% do máximo possível do WSR. Esta ponderação individual relativamente elevada reflete o impacto potencial significativo que é esperado que a precipitação tenha sobre a estabilidade das escombrelas e pilhas. Além disso, elevados níveis de precipitação tendem a resultar em níveis mais elevados de água subterrânea natural que podem afetar indireta e adversamente os fatores de Potencial de Água Subterrânea e de Liquefação no grupo Condições das Fundações e o Potencial de Liquefação de Material no grupo Qualidade do Material. Este impacto coletivo da precipitação no WSR pode ser substancial e destaca a importância deste fator.

### **Condições das Fundações**

O grupo das Condições das Fundações (Tabela 2) inclui fatores que estão relacionados com atributos físicos da fundação ou área das escombrelas ou pilhas. Os fatores-chave neste grupo, que se acredita que afetem potencialmente a estabilidade e são aplicáveis à maioria das escombrelas e pilhas, são a topografia (Talude da fundação e o Formato da fundação), o tipo e a espessura dos solos da fundação (Tipo de Cobertura), a competência e a estrutura do leito rochoso subjacente e das condições da água subterrânea. Dois outros fatores que poderiam ter impactos negativos substanciais na estabilidade,

mas que são aplicáveis apenas a um subconjunto relativamente pequeno de escombrelas e pilhas são o fator de Potencial de Rutura em Condições Húmida e o fator de Potencial de Liquefação da Fundação. Em conjunto, os fatores das Condições das Fundações são ponderados para contabilizar um máximo de 20 pontos, ou 20% do máximo possível do WSR. De observar que as classificações do Potencial de Rutura em Condições Húmida e do Potencial de Liquefação da Fundação são negativamente ponderadas e, portanto, afetam apenas o WSR nos casos únicos em que podem ser aplicáveis.

Tabela 2: Fatores do grupo Condições das Fundações



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
<b>Talude da Fundação</b>	Muito inclinado	Inclinado	Moderado	Suave	Plano; talude rochoso em bancadas; preenchimento da corta
Ângulo geral do talude das fundações (°)	>32	25-32	15-25	5-15	<5
Classificação	0	1	2.5	4	5
<b>Formato das Fundações<sup>2</sup></b>					
Formato em secção	Convexo em taludes inclinados a muito inclinados	Convexo em taludes moderados; côncavo ou planar em taludes inclinados a muito inclinados	Convexo em taludes suaves; planar ou côncavo em taludes moderados	Planar ou côncavo em taludes suaves	Planar ou côncavo em taludes planos ou muito irregulares
Formato em planta	Taludes com uma forma plana convexa pronunciada	Taludes convexos de grande raio	Taludes planares sem confinamento lateral	Taludes côncavos e vales amplos que proporcionam um confinamento natural limitado	Vales estreitos ou ravinas que proporcionam um confinamento natural substancial
Classificação	0	0.5	1	1.5	2
<b>Tipo de Cobertura</b>	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Descrição	Solos altamente orgânicos; siltes e argilas muito macios a macios; argilas muito sensíveis; outros solos muito fracos	Solos de grão fino, macios a firmes, fracos ou sensíveis (por exemplo, depósitos lacustres, siltes e argilas, solos residuais de grão fino)	Depósitos aluviais; areias e cascalhos soltos a moderadamente densos; depósitos coaluviais de grãos mistos; solos residuais arenosos; solos duros de grão fino	Base rochosa altamente meteorizada, mas coerente; depósitos de vertente competentes; solos moderadamente densos a densos, de grãos grossos; moreias de grão misto moderadamente densas (tilitos)	Moreia muito densa, de grão misto (tilito) e outros solos muito competentes ou duros; solos perpetuamente congelados com potencial insignificante de fluência devido à carga da escombrela; leito rochoso competente
Classificação	0	1	2	3	4
<b>Espessura da cobertura (m)</b>	>5	3-5	1-3	0.3-1	<0.3
Classificação	0	0.5	1	1.5	2
<b>Potencial rutura em condições húmidas<sup>3</sup></b>	Muito Alto <sup>5</sup>	Alto <sup>6</sup>	Moderado	Baixo	Desprezível
Descrição	Solos saturados, normalmente ou subconsolidados, compressíveis do tipo I ou II que possuem condutividade hidráulica muito baixa e comportam-se como materiais S <sub>u</sub> (baixo atrito) de baixa resistência; potencial muito alto para gerar excesso de pressão nos poros quando carregados rapidamente	Solos saturados, medianamente ou levemente super consolidados, compressíveis do tipo I ou II, com baixa condutividade hidráulica e comportam-se como materiais de Mohr-Coulomb (c-φ); alto potencial de geração de excesso de pressão nos poros quando carregados rapidamente	Solos saturados, normalmente consolidados, misturados ou de granulação fina tipo III ou IV com condutividade hidráulica baixa a moderada e potencial moderado para geração de excesso de pressão nos poros quando carregados rapidamente; potencial desconhecido para rutura em condições húmidas	Solos não saturados, normalmente ou super consolidados, misturados ou de granulação fina tipo III ou IV com condutividade hidráulica moderada e baixo potencial para geração de excesso de pressão nos poros quando carregados rapidamente; baixo potencial de rutura em condições húmidas, mas não pode ser totalmente descontado	Solos de grão misto de tipo III, IV ou V fortemente super consolidados ou leitos rochosos competentes ou tipo III ou IV granulares com alta condutividade hidráulica, alta resistência e potencial insignificante para geração de excesso de pressão nos poros quando carregados rapidamente
Classificação	-20	-10	-5	-2.5	0
<b>Potencial de Liquefação das Fundações<sup>4</sup></b>	Muito Alto <sup>5</sup>	Alto <sup>6</sup>	Moderado	Baixo	Desprezível

Descrição	Muito uniformes; muito solto; finos com comportamento plástico mínimo; estrutura aberta e suportada por clastos; alta taxa de espaços vazios; clastos arredondados; saturado	Argilas extrassensíveis e solos extremamente fracos	Potencial de liquefação moderado (ou desconhecido)	Baixo potencial de liquefação, mas não pode ser totalmente descontado	Granulometria heterogênea; denso; alto conteúdo de finos plásticos; estrutura suportada por matriz; baixa taxa de espaços vazios; clastos angulares; seco
Classificação	-20	-10	-5	-2.5	0
<b>Leito Rochoso</b>	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E
Competência <sup>7</sup>	Rochas muito fracas e/ou altamente alteradas por argila, cisalhadas ou altamente fraturadas; carvão laminado e altamente carbonáceo; filito; <i>flysch</i> ; GSI/RMR <20; Q <1	Rochas sedimentares de grão fino; rochas moderadamente meteorizadas ou alteradas; fracturação moderada a intensa; GSI/RMR 20-40; Q 1-4	Moderadamente competentes; moderadamente fraturadas; ligeiramente meteorizadas/alteradas; GSI/RMR 40-60; Q 4-10	Competentes, duras, não meteorizadas/inalteradas, em blocos; GSI/RMR 60-80; Q 10-40	Muito competentes, não meteorizadas, inalteradas, duras, maciças; GSI/RMR > 80; Q > 40
Estrutura	Falhas ou zonas de cisalhamento orientadas adversamente; potencial de ruturas estruturalmente controladas da fundação	Juntas contínuas orientadas adversamente; potencial de rutura da fundação ao longo de anisotropias de <i>fabric</i> bem desenvolvido	Potencial limitado (ou desconhecido) de rutura da fundação ao longo de estruturas principais ou anisotropias de <i>fabric</i> moderadamente desenvolvido	Potencial negligenciável de rutura da fundação ao longo de estruturas principais ou anisotropias de <i>fabric</i> pouco desenvolvido	Nenhuma estrutura ou <i>fabric</i> adverso
Classificação	0	1	2	3	4
<b>Água Subterrânea</b>	Alta		Moderada		Baixa
Condições esperadas das águas subterrâneas	Nível freático à superfície; descarga ou infiltração ativa; gradientes positivos fortes; potencial para geração de altas pressões nos poros da fundação devido ao carregamento do aterro		Lençol freático > 5m abaixo da superfície do solo; potencial limitado para o desenvolvimento de pressões adversas nos poros da fundação devido ao carregamento do aterro		Nível freático a grande profundidade; potencial insignificante para pressões adversas nos poros da fundação
Classificação	0		1.5		3
<b>CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DAS FUNDAÇÕES<sup>8</sup></b>	<b>Classificação Máxima Possível:</b>				<b>20</b>

### Taludes das Fundações

O talude da fundação de uma escombreira ou pilha tem uma influência direta na estabilidade global e no desempenho geral da estrutura. As escombreiras e pilhas construídas em fundações íngremes têm maior probabilidade de serem instáveis ou apresentar um desempenho pobre do ponto de vista da deformação do que aquelas construídas em fundações planas. O fator do Talude da Fundação é caracterizado com base no ângulo geral médio do talude da fundação (Figura 2). É importante observar que o ângulo geral médio do talude da fundação para a escombreira final pode ser mais plano ou mais íngreme do que o ângulo geral do talude da fundação durante as fases intermediárias da escombreira. Embora o fator do Formato da Fundação (veja abaixo) tente capturar parte desta variabilidade, se o fator do Talude da Fundação variar amplamente por fase, este deve ser selecionado com base no ângulo geral do talude menos favorável ao longo do ciclo de desenvolvimento das escombreiras e pilhas, não apenas na configuração final, a menos que a classificação esteja a ser elaborada apenas para fins de encerramento. Os ângulos gerais do talude de fundações podem ser medidos diretamente a partir de planos de sequência da escombreira e secções representativas.

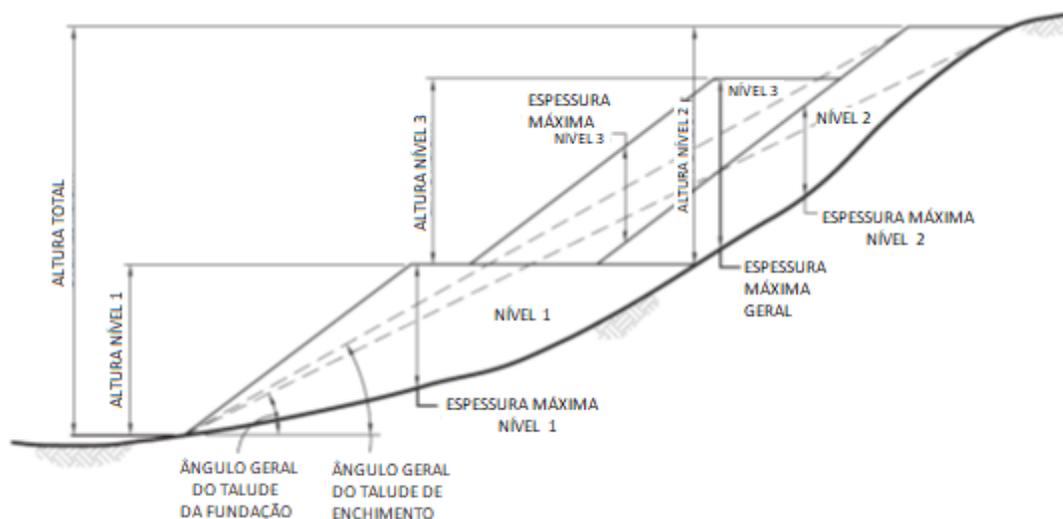


Figura 2: Parâmetros da Geometria

### Formato Das Fundações

O Formato das Fundações de escombrelas e pilhas pode também ter impacto na estabilidade global e no desempenho geral da estrutura. As escombrelas e pilhas que se encontram confinadas pela topografia natural tendem a ter um desempenho melhor do que aquelas que não estão confinadas. Foram definidos dois critérios para ajudar a caracterizar o grau de confinamento proporcionado pelo formato da fundação: a natureza do perfil vertical da fundação, como aparece na secção transversal (Formato em Secção), e o formato plano, representado pelas curvas de nível (Formato em Plano). A classificação da forma em secção é determinada pela comparação do perfil vertical da fundação com três formas idealizadas: convexa, plana e côncava, e com referência à inclinação geral do talude da fundação. Para taludes que têm uma inclinação geral similar à da fundação, as formas côncavas nas quais o talude da fundação se achata progressivamente do topo para a base geralmente resultam em melhor para a estabilidade a longo prazo do que aquelas com formas convexas (o talude da fundação fica progressivamente mais íngreme do topo para a base). Os taludes de fundação planos situam-se, logicamente, entre os casos côncavos e convexas. No entanto, se o talude da fundação for suave, pode haver pouca diferença entre o desempenho de escombrelas e pilhas construídas em fundações côncavas e planas. Além do mais, fundações que possuem perfis seccionais irregulares com rolos ou sulcos laterais que interrompem as possíveis interfaces de cisalhamento escombrela-fundação tendem a ter um desempenho melhor do que fundações uniformes.

O parâmetro Formato Plano é caracterizado com base no formato da fundação visto em planta ou mapa e na forma das curvas de nível. As escombrelas e pilhas que são construídas em vales estreitos ou ravinas que proporcionam confinamento lateral natural tendem a ter um melhor desempenho do que aquelas situadas em taludes uniformes ou taludes com formas convexas ou proeminências com pouco ou nenhum confinamento lateral.

### Tipo de Cobertura

No contexto do sistema WSRHC, o termo "cobertura" refere-se a qualquer solo ou material de enchimento subjacente à escombrela ou pilha, incluindo solos residuais resultantes da meteorização *in situ* do leito rochoso. Exceto conforme indicado abaixo, a cobertura não inclui rochas frescas ou moderadamente meteorizadas. Para materiais de transição, como saprólitos, o material deve ser caracterizado como cobertura ou leito rochoso, dependendo do comportamento esperado. Os

materiais da cobertura podem ter um impacto substancial na estabilidade de uma escombreira ou pilha e, em alguns casos, podem controlar a sua estrutura. Para os propósitos do WSR, foram definidos cinco tipos gerais de cobertura:

- Tipo I: Solos altamente orgânicos e muito fracos, tais como turfa amorfa e argilas muito moles e/ou muito sensíveis, com muito pouca coesão ou capacidade de suporte (por exemplo, resistência ao cisalhamento em condições húmidas tipicamente menor que 10 kPa);
- Tipo II: solos macios a firmes, fracos e de grãos finos, como depósitos lacustres e glacio-lacustres, siltes e argilas aluviais e solos residuais de grão fino (por exemplo, saprólitos fracos e ricos em argila). Espera-se que estes materiais tenham uma resistência ao cisalhamento em condições húmidas inferiores a 25 kPa e/ou baixo valor do ângulo de atrito efetivo (ou seja,  $\phi < 15^\circ$ ). Os depósitos de turfa fibrosa e alguns materiais de 'solo superficial' que exibem resistência ao cisalhamento por atrito também podem ser incluídos neste grupo, dependendo da sua composição e comportamento esperado.
- Tipo III: Depósitos aluviais de grão médio a grosso, como areias e cascalhos soltos a moderadamente densos, depósitos coaluviais de granularidade mista, solos residuais arenosos (por exemplo, saprólitos silto-arenosos) e solos duros de grão fino. Espera-se que estes solos se comportem predominantemente como materiais de atrito com  $\phi > 25^\circ$  ou materiais coesivos com smdd ao cisalhamento em condições húmidas de mais de 50 kPa.
- Tipo IV: leito rochoso altamente meteorizado, mas coerente; depósitos de vertente angulares competentes; solos moderadamente densos a densos, de grãos grosseiro; moreias de granularidade mista moderadamente densas (isto é, tilitos); e solos duros de grãos finos consolidados. Espera-se que estes solos se comportem como materiais de atrito com  $\phi \geq 30^\circ$  ou como materiais coesivos com resistência ao cisalhamento em condições húmidas de mais de 200 kPa.
- Tipo V: moreias densas e de granularidade mista (tilitos) e outros solos muito competentes ou duros, ou solos permanentemente congelados com potencial insignificante de deformação devido à carga da escombreira ou da pilha. Espera-se que estes solos se comportem como materiais de atrito com  $\phi > 35^\circ$  ou como materiais coesivos com resistência ao cisalhamento em condições húmidas de mais de 500 kPa. Por defeito, o Tipo V também inclui casos em que a escombreira ou pilha seria fundada diretamente em leito rochoso competente. A cobertura permanente congelada também pode ser caracterizada como Tipo V; no entanto, tal deve ser apoiado por investigações detalhadas *in situ* e testes de laboratório que demonstrem claramente que o material permanecerá congelado e não estará sujeito a deformação ou degelo induzido por tensões sob as cargas esperadas, ou sujeito ao degelo como resultado de alterações no regime de fluxo de águas subterrâneas.

### Espessura da Cobertura

A espessura da cobertura também pode desempenhar um papel na estabilidade. Quando um depósito de espessura fina se forma sobre material mais competente, pode ser deslocado durante a colocação do material da escombreira ou pilha, ou o material da escombreira ou pilha pode penetrar a camada fina e fraca e ser inserido no material subjacente mais competente. Também pode ser possível remover camadas fracas se estas não forem muito espessas. Por outro lado, mesmo depósitos espessos de solos competentes podem conter áreas ou camadas fracas que podem afetar adversamente a estabilidade, e quanto mais espesso o depósito, maior a probabilidade de uma camada fraca estar presente. A classificação da Espessura da Cobertura está diretamente ligada à espessura média da cobertura e visa reconhecer que o potencial de instabilidade aumenta gradualmente com o aumento da espessura deste, independentemente do tipo de cobertura. Se o projetista especificar que uma camada de cobertura fraca deve ser removida antes da construção, a classificação de Espessura de Cobertura deve ser baseada na espessura do material restante.

### Potencial de Rutura em Condições Húmidas

A rutura da fundação em condições húmidas pode ocorrer quando solos fracos da fundação são carregados muito rapidamente. O carregamento rápido de solos de grão fino saturados (ou quase saturados) com baixa condutividade hidráulica pode aumentar a pressão dos poros no solo mais rápido do que pode ser dissipada pelos processos normais de consolidação. Estes tipos de ruturas podem ocorrer rapidamente quando a resistência ao cisalhamento em condições húmidas dos solos é excedida podem ocorrer grandes deslocamentos. Os tipos de cobertura que são mais suscetíveis a ruturas em condições húmidas incluem argilas e siltes saturados, normalmente ou ligeiramente sob consolidados. Saprólitos e solos residuais de granularidade mista e cujas propriedades de resistência ao cisalhamento são dominadas por argilas plásticas com baixa resistência em condições húmidas também podem ser suscetíveis e, nas condições adequadas de carga e de água subterrânea, até tipos de cobertura moderadamente fortes que comportam-se como materiais de Mohr-Coulomb e cujo o comportamento à resistência ao cisalhamento é composto de ambas componentes de coesão e de atrito, podendo ser suscetível.

### Potencial de Liquefação das Fundações

Em casos raros, é possível que depósitos de cobertura dentro da área ocupada por uma pilha escombreira ou possam ser suscetíveis de liquefação. A liquefação pode ocorrer se a pressão dos poros no material se aproximar ou exceder a tensão de cobertura ou confinante. Altas pressões nos poros podem ser induzidas por agitação cíclica, tal como a que pode ocorrer durante um sismo. A agitação sísmica também pode resultar no colapso de uma estrutura solta e dispersa do solo, que por sua vez pode resultar num aumento repentino na pressão dos poros. A liquefação induzida sismicamente também é referida como liquefação dinâmica. A liquefação também pode ser induzida por altas pressões nos poros devido a condições de fluxo artesianas, excesso de pressão nos poros induzida por atividades de construção ou perda repentina de confinamento (liquefação estática). O material liquefeito comporta-se mais como um fluido do que como um solo e está sujeito a uma rápida perda de resistência e a grandes deslocamentos quando não confinado.

Os materiais de cobertura mais suscetíveis à liquefação têm vários atributos em comum. Estes são tipicamente compostos por materiais uniformemente calibrados com partículas arredondadas. Estes também são geralmente muito soltos, têm uma elevada taxa de vazios, são saturados e têm um baixo conteúdo em argila. Depósitos de siltes calibrados uniformes, soltos, saturados e areias finas (por exemplo, alguns tipos de depósitos de rejeitados) são, frequentemente, altamente suscetíveis à liquefação, mas depósitos mais grosseiros de areia ou cascalho e até seixos podem também ser suscetíveis sob certas condições. Por outro lado, materiais densos, uniformes, insaturados e com quantidades consideráveis de argila e partículas angulares têm baixa suscetibilidade à liquefação.

### Leito Rochoso

A competência do leito rochoso subjacente à fundação também pode influenciar ou controlar a estabilidade, particularmente no caso de escombreas muito altas, assentes em leitos rochosos com fracas condições. O potencial para a ocorrência de descontinuidades estruturais orientadas adversamente (por exemplo, falhas, contactos, dobramentos, diáclases) no leito rochoso da fundação também precisa ser considerado.

Foram definidos cinco tipos de leito rochoso de fundação e são caracterizados com base na competência geral ou nas condições estruturais e de resistência, como segue:

- **Tipo A:** rochas sedimentares muito fracas e/ou altamente alteradas com argila, cisalhadas ou altamente fraturadas; laminadas, fracamente cimentadas (por exemplo, argilitos, siltitos, arenitos bentoníticos ou glauconíticos, carvão altamente carbonáceo); rochas metamórficas de baixo grau, freáveis, pouco endurecidas e com elevado conteúdo de argila ou mica (por exemplo, filitos, micaxistos, xistos). Massas de rochas de baixa qualidade com um GSI (Hoek et al. 2013) menor que 20, um RMR (Bieniawski 1976) menor que 20 ou igual a 1 também podem ser incluídas neste tipo. Os leitos rochosos que contêm falhas discretas, persistentes, de orientação adversa ou juntas de estratificação/laminação, ou fraturas muito persistentes (à escala do talude) também seriam classificadas como Tipo A. As orientações adversas incluiriam estruturas paralelas a ou intercetadas pelo talude, ou que, em combinação, podem originar modos instáveis de ruturas planares, em cunha ou complexos que podem desestabilizar a fundação sob a carga esperada da escombreira ou da pilha.
- **Tipo B:** Rochas sedimentares de grão fino que são mais competentes do que aquelas classificadas como Tipo A, com moderada meteorização ou alteração e/ou moderadamente a intensamente fraturadas, massas rochosas de baixa qualidade com valores de GSI/RMR na faixa de 20 a 40 ou valores de Q no intervalo de 1 a 4. Fundações no leito rochoso que não contêm estruturas discretas, persistentes e orientadas adversamente, conforme descrito acima para fundações tipo A, mas caracterizadas por um *fabric* bem desenvolvido e orientado adversamente (por exemplo, estratificação ou foliação descontínua, juntas conjugadas, juntas de foliação, veios) com o potencial de desenvolvimento de ruturas de fundação controladas por anisotropias são classificadas como Tipo B. O Tipo B também inclui fundações no leito rochoso que são pouco compreendidas, que não foram investigadas ou que não estão localizadas em áreas formações geológicas que possam estar sujeitas a instabilidade controlada estruturalmente ou baixa competência geral. Este padrão no nível de investigação visa incentivar os projetistas a realizar, pelo menos, um nível mínimo de investigação *in situ*, incluindo a realização de sondagens nas zonas circundantes e cartografia de reconhecimento, para que a condição da rocha subjacente possa ser racionalmente avaliada.
- **Tipo C:** Rochas maioritariamente moderadamente competentes, moderadamente fraturadas e/ou ligeiramente meteorizadas/alteradas e massas rochosas de boa qualidade com valores de GSI/RMR no intervalo de 40 a 60 ou de Q no intervalo de 4 a 10. A estratigrafia e estrutura da fundação é razoavelmente bem compreendida com base nos resultados de sondagens e cartografia de reconhecimento, e o potencial de instabilidade da fundação de base é considerado limitado (mas não desprezível). O tipo C também inclui casos em que a investigação da fundação foi limitada, mas espera-se que as formações geológicas subjacentes sejam razoavelmente competentes e que a estrutura regional seja favorável.
- **Tipo D:** Rocha firme competente, dura, não meteorizada/inalterada, em blocos e de boa qualidade, com valores de GSI/RMR na faixa de 60 a 80 ou valores de Q na faixa de 10 a 40 e com potencial insignificante de rutura nas estruturas principais ou em anisotropias do *fabric*. Como condição adicional, as fundações do Tipo D devem ser apoiadas por uma investigação detalhada *in situ*.
- **Tipo E:** Leito rochoso de qualidade muito competente, muito dura, não meteorizada, inalterada, maciça e de muito boa qualidade, com valores de GSI/RMR maiores que 80 ou valores Q maiores que 40, e sem nenhuma estrutura ou *fabric* discreto orientado adversamente. Como no Tipo D, as fundações do Tipo E devem ser apoiadas por investigações *in situ* detalhadas.

### Água Subterrânea

Os níveis das águas subterrâneas, os gradientes hidráulicos, as direções do fluxo e as condutividades hidráulicas dos materiais que compõem a fundação e a escombreira ou pilha influenciam as pressões dos poros na fundação. Níveis elevados de água subterrânea e pressão de poros na fundação podem

afetar adversamente a estabilidade estática da estrutura e também podem criar condições (por exemplo, saturação) que podem aumentar o potencial de rutura por liquefação. As escombreyras e pilhas fundadas em áreas de descarga de águas subterrâneas com gradientes positivos, tais como no fundo de vales ou em áreas de baixa topografia, são mais propensas a apresentarem pressões elevadas de poros e condições de saturação do que aqueles encontrados em áreas de recarga com gradientes negativos, como declives bem drenados ou zonas de elevada topografia. A construção de escombreyras e pilhas também pode alterar os níveis naturais de água subterrânea e o regime de fluxo, alterando as áreas de captação ou taxas de infiltração; portanto, a avaliação das condições da água subterrânea na fundação precisa considerar as condições naturais e o impacto da construção de escombreyras e pilhas.

O impacto potencial das águas subterrâneas na estabilidade das escombreyras e pilhas é classificado como elevado, moderado ou baixo pela comparação das condições conhecidas ou esperadas com as descrições de referência, conforme detalhado a seguir:

**Elevado:** caracterizado pelos seguintes critérios:

- O lençol freático natural está à superfície ou próximo desta ou é esperado que suba para ou acima da superfície original do solo durante ou após a construção da escombreyra ou pilha.
- A base da pilha ou da escombreyra está localizada numa área de descarga ou infiltração, ou afeta uma zona húmida, lago ou ribeiro sazonal ou perene.
- Existe um forte gradiente positivo na base da escombreyra ou pilha.
- Existe um potencial de geração de altas pressões de poros na fundação devido ao carregamento da escombreyra ou da pilha.

**Moderado:** caracterizado pelos seguintes critérios:

- A elevação sazonal máxima do lençol freático é superior a 5 m abaixo da superfície natural do solo e não se espera um aumento considerável como resultado da construção da escombreyra ou pilha.
- O fluxo da água subterrânea é paralelo ao talude ou existe um gradiente negativo.
- Existe potencial limitado para o desenvolvimento de pressões de poros adversas na fundação devido ao carregamento da escombreyra ou da pilha.

**Baixo:** caracterizada por:

- O lençol freático está a grande profundidade, abaixo da base da potencial superfície de rutura crítica mais profunda.
- Existe um forte gradiente negativo.
- Existe um potencial insignificante de pressões nos poros adversas na fundação.

### **Qualidade do Material**

O grupo Qualidade do Material (Tabela 3) inclui fatores que estão relacionados com os atributos físicos dos materiais utilizados para construir a escombreyra ou pilhas e determinam coletivamente a resistência ao cisalhamento, o comportamento à deformação e as características hidrológicas da estrutura. Os fatores principais nesta categoria são a granulometria (distribuição do tamanho de partículas), resistência intacta e durabilidade e estabilidade química. Um quarto fator que pode potencialmente ter um impacto negativo substancial na estabilidade, mas apenas aplicável a um subconjunto relativamente pequeno de escombreyras e pilhas, é o potencial de liquefação do material.

## Granulometria

A granulometria ou distribuição de tamanho das partículas da escombreira ou pilha é um fator-chave na determinação do componente de atrito de sua resistência ao cisalhamento, o que normalmente é responsável pela maior parte da resistência ao cisalhamento do estéril e mineralização desmontados. Em termos gerais, materiais uniformes com uma alta percentagem de partículas angulares grosseiras e um baixo componente de finos tendem a ter maior resistência ao cisalhamento do que materiais de grão fino e bem calibrados. A granulometria é caracterizada usando dois índices: a proporção (% em peso) de material com tamanho de partícula menor que 0,075 mm (também conhecido como teor de finos) e a proporção com tamanho de grão maior que 75 mm (isto é, seixos e blocos). Conforme resumido na Tabela 3, materiais de grão muito fino teriam mais de 50% de finos e menos de 10% de seixos e blocos, enquanto materiais de calibre muito grosso teriam menos de 5% de finos e mais de 75% de seixos e blocos.

Outro fator que pode ter uma influência significativa na resistência ao cisalhamento de materiais de grão fino é a composição mineral dos finos. Os finos são compostos de minerais de argila plástica, que seriam caracterizados por uma resistência ao cisalhamento relativamente baixa, ou são compostos de fragmentos de rocha ou finos não plásticos, que tendem a ter maior resistência ao cisalhamento? Dois simples testes laboratoriais de índice são regularmente utilizados para auxiliar a caracterizar o comportamento esperado de solos de grão fino: o teste de limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (PL) (Terzaghi e Peck 1967). A diferença entre o LL e o PL do material é definida como o índice de plasticidade (PI). O LL, PL e PI (conhecidos coletivamente como limites de Atterberg) foram correlacionados empiricamente com a resistência ao cisalhamento de solos de grão fino: LL elevado (superior a 50) e PI elevado (superior a 20), normalmente possuem uma alta quantidade de argila plástica e resistência menor. Os materiais de grão fino com baixo LL (abaixo de 35) e baixo PI (abaixo de 10) são tipicamente compostos por argilas plásticas baixas e siltes não plásticos e tendem a ter uma resistência ao cisalhamento mais elevada.

A maioria dos laboratórios de solos é capaz de realizar testes de limites de Atterberg e de granulometria padrão de partículas (até partículas do tamanho de seixos), embora poucos possam estar equipados para testar amostras totalmente representativas, uma vez que o tamanho das partículas pode variar de finos a blocos com mais de 1 m de diâmetro. Além disso, antes do início da exploração, pode não ser possível obter amostras a granel representativas. Se não houver dados credíveis e representativos dos testes de índices laboratoriais, estimativas visuais de granulometria, juntamente com descrições detalhadas dos materiais, incluindo litologia e alteração, preparadas por um geólogo ou especialista geotécnico experiente, devem ser utilizadas. As estimativas das distribuições de tamanho de partículas de rocha estéril e mineralização também podem ser baseadas em estudos semi-empíricos de fragmentação. Tais estudos geralmente são realizados durante o trabalho de viabilidade para ajudar a definir o espaçamento entre as perfurações de desmonte, os fatores de cobertura e carga explosiva e para o dimensionamento de britadores e moinhos. Técnicas de fotogrametria também podem ser usadas para estimar a granulometria do material estéril e mineralizado desmontado.

Tabela 3: Fatores do grupo Qualidade do Material

FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
	Grão Muito Fino		Grão Misto		Grão Muito Grossoiro
<b>Granulometria</b>					
% Finos (passam # 200 crivo; <0.075 mm)	>50%	25-50%	10-25%	5-10%	<5%
% Superior a 75 mm	<10%	10-25%	25-50%	50-75%	>75%
Plasticidade <sub>2</sub>	finos altamente plásticos; LL >50; PI >20	Finos moderadamente plásticos; LL 35-50; PI 10-20	Finos com baixa plasticidade; LL <35; PI <10	NA	NA
Classificação	0	2	3.5	5	7
<b>Durabilidade e Resistência (Intacta)</b>	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Resistência (Intacta)	Rochas extremamente fracas a muito fracas, R0-1 (FCU <5MPa); leito rochoso tipo A; cobertura dos tipos I e II	Rochas fracas, R2 (FCU 5-25 MPa); leito rochoso tipo B; tipos III, IV e sobretudo do tipo V de cobertura	Rochas medianamente fortes, R3 (FCU 25-50 MPa); leito rochoso do tipo C, principalmente; aluviões de grão fino e depósitos de vertente derivados de rochas duras	Rochas fortes a muito fortes, R4 (FCU 50-100 MPa); leito rochoso na maioria do tipo D	Rochas muito fortes a extremamente fortes R5-6 (FCU > 100 MPa); a maioria do leito rochoso tipo E
Durabilidade <sup>3</sup>	Material sujeito a quebra durante a colocação, degradação dependente do tempo devido à desintegração ou congelamento-degelo ou esmagamento sob carga estática prevista		Material sujeito a quebra limitada durante a colocação, degradação dependente do tempo devido à desintegração ou congelamento-degelo ou esmagamento sob carga estática prevista		Material sujeito a quebra limitada durante a colocação, degradação dependente do tempo devido à desintegração ou congelamento-degelo ou esmagamento sob carga estática prevista
Pergelissolo <sup>4</sup>		Materiais perpetuamente congelados tipo 1	Materiais perpetuamente congelados do tipo 2	Materiais perpetuamente congelados do tipo 3	Materiais perpetuamente congelados dos tipos 4 e 5
Classificação	0	2	4	6	8
<b>Potencial de Liquefação do Material<sup>5</sup></b>	Muito Alto <sup>6</sup>	Alto <sup>7</sup>	Moderado ou Desconhecido	Baixo	Desprezível
Descrição	Granulometria muito uniforme; muito solto; finos com comportamento plástico mínimo; estrutura aberta e suportada por clastos; alta taxa de espaços vazios; clastos arredondados; saturado		Potencial de liquefação moderado (ou desconhecido)	Baixo potencial de liquefação, mas não pode ser totalmente descontado	Granulometria heterogênea; denso; finos com comportamento plástico elevado; estrutura suportada por matriz; baixa taxa de espaços vazios; clastos angulares; seco
Classificação	-20	-10	-5	-2.5	0
<b>Estabilidade Química</b>	Altamente reativos		Moderadamente reativos		Neutros
Potencial de Drenagem Ácida de Rochas (DAR)	Alto potencial de decomposição química / oxidação / geração de DAR		Potencial moderado (ou desconhecido) de degradação / oxidação / geração química de DAR		Material quimicamente estável com conteúdo insignificante de minerais reativos
Impacto dos Precipitados	Alto potencial de precipitados para preencher espaços vazios, diminuir a condutividade hidráulica e aumentar a pressão nos poros ao longo do tempo		Potencial limitado (ou desconhecido) de precipitados para preencher espaços vazios, diminuir a condutividade hidráulica e aumentar a pressão nos poros ao longo do tempo		Precipitados desprezíveis ou precipitados que resultam em cimentação e aumentam a resistência ao cisalhamento ao longo do tempo, sem afetar adversamente a pressão dos poros
Classificação	-5	-2.5	0	2.5	5
<b>CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO MATERIAL<sup>8</sup></b>	<b>Classificação Máxima Possível</b>				<b>20</b>

### Resistência Intacta e Durabilidade

A resistência ao cisalhamento das escombrelas e pilhas também é influenciada pela resistência intacta e durabilidade das partículas individuais, particularmente em escombrelas altas, onde as tensões interpartículas podem exceder a resistência intacta do material e resultar em esmagamento.

Materiais com baixa durabilidade mecânica podem quebrar durante a colocação ou ao longo do tempo devido a processos de desintegração (causada por ciclos húmido-seco) ou congelamento-degelo. Todos estes processos tendem a resultar na criação de finos adicionais e alteram a granulometria do material. Para ajudar a caracterizar os materiais de pilhas e escombreyras com base na resistência intacta e durabilidade, cinco tipos de materiais foram definidos da seguinte forma:

- **Tipo 1:** Materiais extremamente fracos a muito fracos, altamente degradáveis. Rochas pouco endurecidas ou pouco cimentadas com resistência intacta muito baixa (força de compressão uniaxial [FCU] menor ou igual a 5 MPa; dureza menor ou igual a R1 [ISRM 1981a]) que quebram facilmente quando despejadas em taludes com ângulos de repouso ou sujeitas a tráfego de bulldozeres ou *dumpers* ou suscetíveis a trituração sob carga estática prevista e, rochas que contêm minerais argilosos expansivos e altamente suscetíveis à degradação por congelamento e degelo.
- **Tipo 2:** Materiais fracos e degradáveis. Rochas com baixa resistência intacta (FCU 5 a 25 MPa; dureza R1 a R2) e/ou baixa durabilidade à desintegração e suscetibilidade moderada à degradação por congelamento e degelo, incluindo rochas do tipo B do leito rochoso, onde a maioria dos solos são de grãos mistos e aluviões de grãos médios (cobertura dos tipos III, IV e V), exceto aluviões e depósitos de vertente muito grosseiros.
- **Tipo 3:** materiais de resistência média com durabilidade moderada. Rochas moderadamente fortes (FCU 25 a 50 MPa; Dureza R3), com durabilidade moderada à desintegração, suscetibilidade limitada à degradação por congelamento e degelo e potencial limitado de esmagamento sob carga estática prevista. Inclui a maioria dos leitos rochosos do tipo C e aluviões grosseiros derivados de rochas resistentes.
- **Tipo 4:** rochas fortes (FCU 50 a 100 MPa; Dureza R4), muito resistentes com baixa suscetibilidade à degradação por congelamento e degelo, incluindo a maioria dos leitos rochosos tipo D e depósitos de vertente angulares, grosseiros, resistentes e compostos por blocos rochosos fortes.
- **Tipo 5:** rochas muito fortes a extremamente fortes (FCU maior que 100 MPa; dureza maior ou igual a R5), extremamente estáveis e depósitos de vertente com resistência e durabilidade semelhantes. Estes materiais não seriam suscetíveis à degradação por congelamento e degelo, quebra mecânica durante a colocação ou esmagamento sob o carregamento estático previsto. Inclui a maioria dos leitos rochosos tipo E.

#### Potencial de Liquefação do Material

Semelhante à cobertura das fundações, em casos raros, é concebível que certos tipos de materiais de escombreyra ou pilhas possam ser suscetíveis à liquefação. Os materiais mais suscetíveis à liquefação são tipicamente compostos de materiais muito soltos, saturados e com granulometria uniforme, com baixo teor de argila e partículas arredondadas. Como a maioria dos materiais não é suscetível à liquefação, o valor de classificação por defeito para um potencial desprezível de liquefação foi definido como zero. No outro extremo, onde o potencial de liquefação é muito alto, um valor de classificação de -20 foi atribuído para garantir que tais condições sejam sinalizadas adequadamente.

#### Estabilidade Química

A resistência intacta dos materiais de escombreyras e pilhas também pode degradar-se ao longo do tempo como resultado de processos químicos, como oxidação de sulfuretos ou dissolução de sulfatos. Precipitados que podem formar-se como resultado destes processos químicos também podem afetar a condutividade hidráulica da estrutura. O fator de estabilidade química reconhece o impacto potencial que estes processos químicos podem ter na estabilidade. Os materiais da escombreyra e pilhas são classificados como altamente reativos, moderadamente reativos (ou desconhecidos) ou

neutros, com base em sua potencial suscetibilidade à degradação química e geração de precipitados, que podem reduzir a condutividade hidráulica do material como um todo e aumentar a saturação e as pressões de poros. Os materiais altamente reativos recebem um valor de classificação de -5 em reconhecimento do significativo impacto negativo na estabilidade que estes processos podem ter a longo prazo e para sinalizar estes materiais para uma avaliação mais detalhada. Aos materiais moderadamente reativos, e aos materiais que não foram completamente caracterizados de acordo com a estabilidade química, é atribuído um valor nominal de 0. Os materiais que foram definitivamente caracterizados como tendo potencial desprezível na degradação química de longo prazo recebem um valor nominal de 5. Tal como com o potencial de liquefação, este esquema negativo de classificação ponderada visa incentivar os profissionais a caracterizar cuidadosamente os materiais utilizando ensaios de campo e de laboratório apropriados, projetados para avaliar a estabilidade química a longo prazo.

## Geometria e Massa

O grupo Geometria e Massa (Tabela 4) inclui fatores relacionados ao tamanho e forma da escombreira ou pilha. Escombreyras e pilhas maiores e mais altas, e aquelas com taludes mais íngremes, tendem a ser mais suscetíveis à instabilidade, e estas instabilidades tendem a ser maiores e têm maiores deslocamentos e impactos mais adversos do que estruturas menores, mais baixas e mais planas. Os critérios escolhidos para caracterizar a geometria e a massa incluem vários parâmetros de altura, ângulo de talude e o volume ou massa da escombreira ou pilha. Coletivamente, os fatores de Geometria e Massa são ponderados para representar um máximo de 10 pontos, ou 10% do máximo possível do WSR.

Tabela 4: Fatores do grupo Geometria e Massa



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
<b>Altura</b>	Muito alto	Alto	Moderado	Baixo	Muito baixo
Altura geral (m)	>500	250-500	100-250	50-100	<50
Espessura vertical máxima (m)	>500	250-500	100-250	50-100	<50
Altura máxima de cada nível (m)	>200	100-200	50-100	25-50	<25
Classificação	0	1	2	3	4
<b>Talude</b>	Muito inclinado	Inclinado	Moderado	Plano	Muito plano
Ângulo geral do talude de enchimento (°) <sup>2</sup>	>35	30-35	25-30	15-25	<15
Classificação	0	1	2	3	4
<b>Volume e Massa</b>	Muito Grande	Grande	Médio	Pequeno	Muito pequeno
Volume (m <sup>3</sup> )	>1x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>8</sup> -1x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>7</sup> - 1x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>6</sup> - 1x10 <sup>7</sup>	<1x10 <sup>6</sup>
Massa (t)	>2x10 <sup>9</sup>	2x10 <sup>8</sup> -2x10 <sup>9</sup>	2x10 <sup>7</sup> - 2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>6</sup> - 2x10 <sup>7</sup>	<2x10 <sup>6</sup>
Classificação	0	0.5	1	1.5	2
<b>CLASSIFICAÇÃO DE GEOMETRIA E MASSA<sup>2</sup></b>	Classificação Máxima Possível				<b>10</b>

### Altura

Foram escolhidos três parâmetros (ver Figura 2) para caracterizar a altura da escombreira e das pilhas: a altura total (da base ao topo), a espessura máxima de preenchimento e a altura máxima de níveis individuais. Onde possível, a classificação Altura deve ser selecionada com base no equilíbrio destes três parâmetros.

### Talude

O ângulo geral do talude de enchimento é o ângulo medido da linha reta que conecta as linhas horizontais da base e o topo do enchimento (ver Figura 2). Para evitar que escombreyras construídas

com ângulo de repouso entre níveis tenham alturas demasiado baixas, foi aplicado ao ângulo geral do talude uma classificação mínima por defeito de 2, sempre que a altura total do talude é inferior a 50m. Para alturas totais de talude entre 50 e 100 m, uma classificação mínima por defeito de 1 deve ser atribuída.

### Volume e Massa

O fator de Volume e Massa deve ser estimado com base no volume solto ou no seu total da escombreira ou pilha. Se o volume de rocha intacta (ou seja, o volume do material medido *in situ*, antes do seu desmonte e escavação) for usado, deve ser aplicado um fator de empolamento. O fator de empolamento é a razão entre o volume solto do material desmontado e o respetivo volume *in situ* antes do desmonte e escavação. Valores típicos dos fator de empolamento para rocha escavada utilizando técnicas de desmonte em massa, como as aplicadas em minas a céu aberto, variam entre ~1,25 e 1,5. As faixas para o fator de Volume e Massa foram calculadas assumindo uma densidade em condições húmidas de material solto de 2 t/m<sup>3</sup>, ou uma densidade em condições húmidas *in situ* de 2,7 t/m<sup>3</sup> e um fator de empolamento de 1,35. Se as densidades em condições húmidas existentes ou os fatores de empolamento esperados diferirem materialmente destes valores de referência assumidos, as faixas de Volume e Massa devem ser ajustadas de acordo, ou a classificação de Volume e Massa deve basear-se apenas na massa, pois a massa geralmente é o parâmetro a mais fácil obter.

### **Análise de Estabilidade**

O grupo Análise de Estabilidade (Tabela 5) tem como objetivo capturar e diferenciar a estabilidade com base nos resultados da análise de estabilidade objetiva e nos critérios de validação nos quais o projeto conceptual se baseia. Pode ser utilizada uma grande variedade de técnicas analíticas para analisar a estabilidade de uma escombreira ou pilha. Estas várias técnicas podem ser agrupadas em duas categorias básicas: determinística e probabilística. Técnicas determinísticas são projetadas para calcular um valor de índice específico que representa estabilidade, como fator de segurança (FS) ou coeficiente de segurança (CS). A abordagem do FS é mais vulgarmente associada a técnicas de análise de equilíbrio limite (EL) conhecidas pela maioria dos praticantes. A abordagem CS é mais comum a técnicas de modelação numérica, tais como elementos finitos, elementos distintos e técnicas relacionadas, que se estão a tornar mais populares.

Enquanto a Tabela 5 deduz uma equivalência entre FS e CS, este nem sempre é o caso. O FS e o CS dependem de muitos fatores, incluindo a técnica de análise específica usada, a complexidade do modelo, o trajeto crítico de rutura e, no caso de certos modelos numéricos, das condições *in situs* de tensão e do trajeto da tensão. Uma avaliação detalhada destas diferenças está além da avaliação destas diretrizes. O FS foi definido nesta diretriz como o principal índice de estabilidade determinística para fins do estabelecimento de critérios de validação, e os valores do índice de estabilidade mostrados na Tabela 5 são baseados no FS.

Os fatores de Análise de Estabilidade foram agrupados em duas categorias: Estabilidade Estática Geral, para capturar o comportamento esperado de estabilidade da estrutura em condições de carga estática normal (gravidade) e Estabilidade Dinâmica Geral, para capturar o comportamento esperado de estabilidade sob condições excecionais de carga devido a sismos. Os critérios típicos de validação para estes dois casos são diferentes. Para ambas as categorias, os intervalos de classificação são expressos em termos de valores determinísticos (FS e CS). A classificação da Análise de Estabilidade é responsável por um máximo de 10 pontos, ou 10% do máximo possível do WSR.

Tabela 5: Fatores do grupo Análise de Estabilidade



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
<b>Estabilidade Estática<sup>2</sup></b>					
Fator de segurança (FS) ou Coeficiente de segurança (CS) <sup>3</sup>	<1.1	1.1-1.2	1.2-1.3	1.3-1.5	>1.5
Probabilidade de rutura (PR)	>20%	10-20%	5-10%	1-5%	<1%
Outros Critérios <sup>4,5</sup>	Não convergente Modelo Numérico	Sem Suporte Análise de estabilidade	Convergente Modelo Numérico		
Classificação	0	2	3.5	5	7
<b>Estabilidade Dinâmica<sup>2,6</sup></b>					
Fator de Segurança (FS) ou Coeficiente de Segurança (CS) <sup>3</sup>	<1.0	1.0-1.05	1.05-1.10	1.10-1.15	>1.15
Outros Critérios <sup>4,5</sup>	Não convergente Modelo Numérico	Sem Suporte Análise de estabilidade	Convergente Modelo Numérico		
Classificação	0	1	1.5	2	3
<b>CLASSIFICAÇÃO DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE<sup>9</sup></b>	<b>Classificação Máxima Possível</b>				<b>10</b>

### Estabilidade Estática Geral

A classificação de Estabilidade Estática Geral deve ser determinada de acordo com a Tabela 5, com base nos resultados da EL 2D ou 3D ou da modelação numérica usando uma técnica de análise convencional. Este fator é altamente ponderado (70% do grupo de Estabilidade Geral) em comparação com uma ponderação de 30% para o fator de Estabilidade Dinâmica Geral, para refletir o impacto limitado que se pensa que a sismicidade tenha na instabilidade das escombrelas ou pilhas. No caso em que a estabilidade foi avaliada através de um modelo numérico e os resultados são expressos apenas em termos de convergência, um valor padrão de 3,5 deve ser atribuído ao comportamento convergente e um valor de 0 deve ser atribuído ao comportamento não convergente.

Para incentivar os envolvidos a conduzir análises de estabilidade para apoiar o processo de dimensionamento, um valor padrão baixo de 2 (de um máximo de 7) é atribuído se nenhum resultado da análise de estabilidade estiver disponível, um nível moderado de confiança nos parâmetros de entrada que faz com que os resultados da análise sejam credíveis e confiáveis. Se a confiança nos parâmetros de entrada for baixa ou se os resultados forem considerados não confiáveis ou com falta de credibilidade, um valor mais baixo deve ser atribuído. Para se qualificar como tendo um nível moderado de confiança, os resultados devem ser revistos e aceites como razoáveis e confiáveis por um especialista em geotécnica.

### **Estabilidade Dinâmica Geral**

A classificação de Estabilidade Dinâmica Geral também deve ser determinada de acordo com a Tabela 5, com base nos resultados de uma EL ou técnica de modelação numérica. Onde análises pseudoestáticas são usadas para avaliar a estabilidade dinâmica, deve ser aplicada ao pico de aceleração horizontal uma redução apropriada, tal como a sugerido por Hynes-Griffin e Franklin (1984).

No caso em que a estabilidade dinâmica foi avaliada usando um modelo numérico e os resultados são expressos apenas em termos de convergência, com um valor padrão de 1,5 deve ser atribuído ao comportamento convergente e um valor de 0 deve ser atribuído ao comportamento não convergente. Para incentivar o projetista a conduzir análises de estabilidade para apoiar o processo de dimensionamento, é aconselhável a atribuição de um valor padrão baixo de 1 (de um máximo de 3) se nenhum resultado da análise de estabilidade estiver disponível.

Tal como na Estabilidade Estática Geral, os valores de classificação para Estabilidade Dinâmica Geral, apresentados na Tabela 5, pressupõem que haja pelo menos um nível moderado de confiança nos parâmetros de análise para que os resultados da análise sejam credíveis. Se a confiança nos parâmetros for menor, ou se os resultados forem considerados com falta de credibilidade, um valor mais baixo deve ser atribuído. Para se qualificar como tendo um nível moderado de confiança, os resultados devem ser revistos e aceites como razoáveis e confiáveis por um especialista em geotécnica.

## Construção

A classificação Construção (Tabela 6) inclui dois fatores igualmente ponderados, Método de Construção e Índice de Carga, e corresponde a um máximo de 15 pontos, ou 15% do máximo possível do WSR. A sequência da construção e a taxa de desenvolvimento podem ter um impacto muito significativo na estabilidade e no desempenho das escobreiras e pilhas. Todos os outros fatores são iguais: escobreiras e pilhas que são construídos lentamente e de baixo para cima em níveis estreitos são muito mais estáveis e têm desempenho muito melhor do que aquelas que são construídos rapidamente usando níveis altos e únicos. Neste contexto, o desempenho incluiria instabilidade e assentamento.

Tabela 6: Fatores da classificação Construção



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
Método de Construção <sup>2</sup>	Método I	Método II	Método III	Método IV	Método V
Descrição <sup>3</sup>	Sequência descendente com níveis simples ou múltiplos (envolventes), muito altos, construídos em terrenos muito íngremes; alturas de níveis > 200m; taludes gerais da fundação > 32°	Sequência descendente com níveis simples ou múltiplos (envolventes) construídos em terrenos íngremes; alturas de níveis <200m; taludes gerais da fundação 25-32°	Sequência híbrida (combinação de descendente e ascendente) projetada para evitar fundações de níveis em terrenos íngremes ou muito íngremes; alturas de elevação <200m; taludes gerais da fundação > 25°	Sequência ascendente com múltiplos níveis construídos em terreno moderado; alturas de níveis <100m; taludes gerais da fundação 15-25°	Sequência descendente ou ascendente em terreno plano ou suave; alturas de níveis <50m; taludes gerais da fundação <15°
Classificação	0	2	4	6	8
<b>Índice de Carga</b>	Muito alta	Alta	Moderado	Baixa	Muito baixa
Índice de Carga Volumétrica <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> /d/m)	>500	150-500	50-150	15-50	<15
Índice de Carga de Massa <sup>5</sup> (t/d/m)	>250	75-250	25-75	7.5-25	<7.5
Índice de Avanço do Topo da Construção <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /d)	>500	150-500	50-150	15-50	<15
Classificação	0	2	3.5	5	7
<b>Classificação da Construção<sup>7</sup></b>	<b>Classificação Máxima Possível</b>				<b>15</b>

### Método de Construção

O fator Método de Construção destina-se a capturar as principais diferenças no sequenciamento e desenvolvimento de uma escobreira ou pilha que pode afetar a estabilidade e o desempenho gerais. Foram definidos a seguir, cinco métodos de referência com descrições associadas, estando resumidos na Tabela 6. A Figura 3 fornece ilustrações esquemáticas idealizadas dos cinco métodos de referência.

**Método I:** Sequência de construção descendente com níveis simples ou múltiplos (envolventes) muito altos (acima de 200m), construídos em terrenos muito íngremes (taludes de fundação acima de 32°). Este método de construção é geralmente aceite como o menos favorável, do ponto de vista da estabilidade geotécnica, mas muitas vezes representa a abordagem mais económica devido principalmente às menores distâncias das estradas de transporte de material.

**Método II:** Sequências de construção descendentes com níveis simples ou múltiplos (envolventes) construídos em terrenos íngremes (taludes de fundação 25 a 32°). Altura de níveis limitadas a menos de 200 m. O terreno mais plano e as alturas mais baixas de níveis em comparação com o Método I devem resultar em maior estabilidade. As menores alturas de níveis podem aumentar as distâncias de transporte de material e os custos incrementais em comparação com o Método I.

**Método III:** Combinação da sequência de construção descendente e ascendente (também conhecido como método de construção híbrido) com níveis iniciais desenvolvidos em terrenos moderados (taludes da fundação local inferiores a 25°), seguidos por níveis envolventes implementados nos níveis inferiores e em terrenos mais íngremes (taludes da fundação 25–32°). Alturas de níveis limitadas a menos de 200m. Esta abordagem representa um compromisso entre uma construção ascendente mais estável e uma construção descendente menos dispendiosa.

**Método IV:** Sequência de construção ascendente com vários níveis construídos em terreno moderado (taludes da fundação 15–25°). Alturas de níveis limitadas a menos de 100 m. Conforme indicado acima, a construção de baixo para cima é tipicamente mais estável do que de cima para baixo, mas pode ser mais cara se o material precisar ser transportado encosta abaixo a partir do topo da corta. Onde a topografia além do topo da corta é plana, pode haver pouco diferença no custo entre ascendente e descendente.

**Método V:** Sequência de construção ascendente (método Va) ou descendente (método Vb) com vários níveis construídos em terrenos pouco inclinados ou planos (taludes de fundação inferiores a 15°). Alturas de níveis limitadas a menos de 50m. O talude de fundação pouco inclinado ou plano e as baixas alturas de níveis tornam este método o mais estável.

Os engenheiros devem comparar o método de construção proposto para suas escombreyas e pilhas com estas descrições de referência e escolher um valor de classificação com base na descrição que melhor se adequar. Onde os planos de desenvolvimento de escombreyas e pilhas contêm atributos de mais do que um dos métodos de referência, uma classificação intermediária deve ser selecionada.

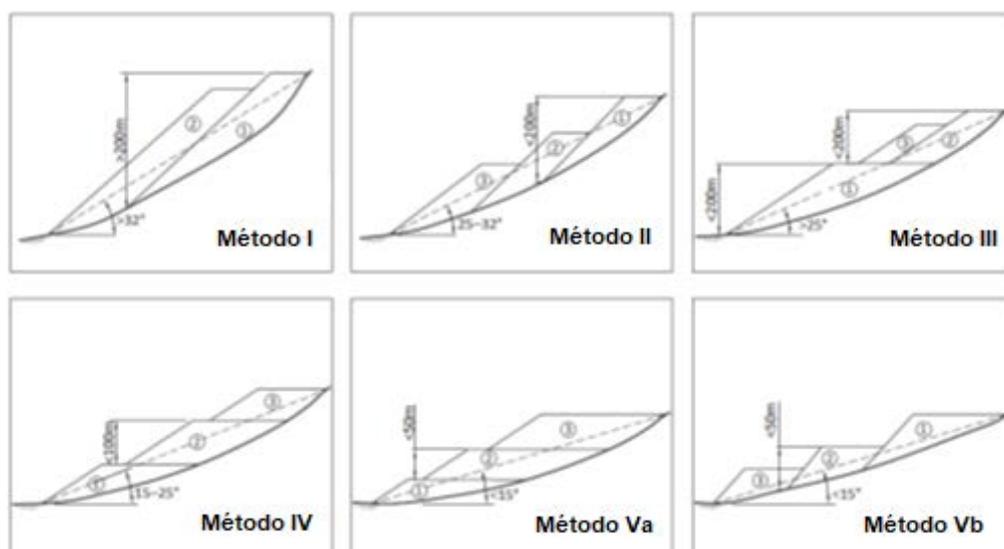


Figura 3: Métodos de construção de escombreyas e pilhas

## Índice de Carga

O fator do Índice de Carga destina-se a capturar o impacto na estabilidade, devido à taxa de construção. As baixas taxas de construção permitem mais tempo para os materiais do aterro e da fundação se consolidarem e ganharem força, e para que as pressões induzidas nos poros pela construção se dissipem. Três parâmetros alternativos e relacionados foram definidos para ajudar a caracterizar a taxa de construção: Índice de Carga Volumétrica, Índice de Carga de Massa e Índice de Avanço do Topo da Construção. O Índice de Carga Volumétrica é definido como a quantidade média de escombreira ou pilha num período de 24h, dividido pelo comprimento médio do topo ativo (medida em metros). O Índice de Carga de Massa é definida como a massa média colocada numa escombreira ou pilha num período de 24h (medida em toneladas), dividida pelo comprimento médio do topo ativo (medida em metros). O Índice de Avanço do Topo da Construção é definido como a taxa média de avanço do topo ativo num período de 24h (medido em metros por dia), multiplicado pela altura média dos níveis (também medida em metros).

Quanto ao fator de Volume e Massa, incluído no grupo Geometria e Massa, estes três parâmetros estão relacionados com o fator de empolamento e com a densidade. As faixas para os fatores Índice de Carga Volumétrica e Índice de Avanço do Topo da Construção indicadas na Tabela 6 foram calculadas com base no Índice de Carga de Massa, assumindo uma densidade de material solto em condições húmidas de  $2,0 \text{ t/m}^3$  ou uma densidade *in situ* em condições húmidas (antes do desmonte e escavação) de  $2,7 \text{ t/m}^3$  e um fator de empolamento de 1,35. Se as densidades em condições húmidas existentes ou os fatores de empolamento esperados diferirem materialmente destes valores de referência assumidos, os Índice de Carga Volumétrica e Índice de Avanço do Topo da Construção devem ser ajustados adequadamente, ou a classificação do Índice de Carga deve ser baseada apenas no fator de Índice de Carga de Massa, uma vez que o Índice de Carga de Massa é geralmente o parâmetro mais facilmente obtido.

## **Desempenho**

A classificação Desempenho destina-se a capturar o desempenho real e documentado da estabilidade das escombreiras e pilhas existentes. Cinco categorias de desempenho de estabilidade foram definidas conforme descrito na lista a seguir e estão resumidas na Tabela 7.

**Muito fraco:** instável. Escombreiras e pilhas que foram submetidos a instabilidade de larga escala ( $> 1 \times 106\text{t}$ ), ou instabilidades únicas ou múltiplas que tiveram um grande impacto nas operações ou que exigiram encerramentos substanciais de longo prazo ou trabalhos de reparação substanciais.

**Fraco:** metaestável a instável. Escombreiras e pilhas que foram submetidas a frequentes encerramentos de curto prazo ou frequentes instabilidades de camadas, topo e/ou fundações locais, mas nenhuma instabilidade de larga escala ( $> 1 \times 106 \text{ t}$ ). Impacto moderado nas operações.

**Razoável:** metaestável a estável. Escombreiras e pilhas que foram submetidos a encerramentos ocasionais devido a deformação/assentamento ou ruturas em camadas pequenas ocasionais ( $< 1 \times 105 \text{ t}$ ). Impactos limitados nas operações. Esta categoria também inclui escombreiras e pilhas sem histórico de desempenho.

**Bom:** estável. Escombreiras e pilhas sujeitos a pequenas deformações/assentamentos, raros encerramentos ou pequenas ruturas raras que tiveram impacto insignificante nas operações.

**Muito bom:** muito estável. Escombreiras e pilhas que sofreram deformações/assentamentos desprezíveis, sem encerramentos e sem instabilidades que impactaram as operações.

Os valores da classificação de desempenho variam de -15 a +15. A classificação negativa é atribuída a desempenhos muito fracos e fracos e visa sinalizar estas estruturas para avaliação adicional.

Tabela 7: classificação Desempenho



FATORES <sup>1</sup>	CLASSIFICAÇÕES				
Desempenho de Estabilidade	Muito Fraco <sup>2</sup>	Fraco <sup>3</sup>	Razoável	Bom	Muito Bom
Descrição	Instável; encerramentos substanciais a longo prazo ou importantes trabalhos de reparação necessários; instabilidade a larga escala (> 1x106 t); grande impacto nas operações	Metastável a instável; encerramentos frequentes de curto prazo; ruturas frequentes de camadas/topo e/ou fundações locais, mas nenhuma instabilidade a larga escala (> 1x106 t); impacto moderado nas operações	Metastável para estável; encerramentos ocasionais devido a deformação / assentamentos; pequenas ruturas ocasionais de camadas (<1x105 t); impacto limitado nas operações; escombrelas e pilhas sem histórico de desempenho	Estável; pequena deformação e / ou assentamentos; encerramentos raros; pequenas ruturas raras; impacto insignificante nas operações	Muito estável; deformação / assentamentos insignificantes; sem ruturas; nenhum impacto nas operações.
Classificação	-15	-7.5	0	7.5	15
Classificação de Desempenho <sup>4</sup>	Classificação Máxima Possível				15

### Classificação de Estabilidade de Escombrelas e Pilhas

O agregado dos valores de classificação para cada grupo de fatores descritos acima é definido como a classificação de estabilidade de escombrelas e pilhas (WSR). A Tabela 8 fornece um formato conveniente para resumir e agregar as classificações para os diferentes índices. Além de calcular o WSR geral, são calculados dois índices de componentes: o Índice de Geologia da Engenharia (EGI) e o Índice de Desenho e Desempenho (DPI) também são calculados. O EGI é igual à soma dos índices de Cenário Regional, Condições das Fundações e Qualidade do Material, e representa fatores relacionados com a localização da área e com as condições geológicas, o qual os engenheiros tem limitada capacidade de influenciar. O DPI é igual à soma dos índices de Geometria e Massa, Análise de Estabilidade, Construção e Desempenho e representa fatores sobre os quais os engenheiros tem algum controlo. Os valores máximos de classificação para estes dois índices são equilibrados para que ambos representem 50% do WSR.

Tabela 8: Classificação de estabilidade (WSR) de escombrelas e pilhas



							Valor de Classificação Selecionado	
ÍNDICE DE ENGENHARIA GEOLÓGICA (EGI)	ENQUADRAMENTO REGIONAL	Descrição	Muito adverso	Adverso	Neutro	Favorável	Muito favorável	
		Classificação	0	2.5	5	7.5	10	
	CONDIÇÕES DAS FUNDAÇÕES	Descrição	Muito fraco	Fraco	Razoável	Bom	Muito bom	
		Classificação	≤0	5	10	15	20	
	QUALIDADE DO MATERIAL	Descrição	Muito fraco	Fraco	Razoável	Bom	Muito bom	
		Classificação	≤0	5	10	15	20	
ÍNDICE DE PROJETO E DESEMPENHO (DPI)	GEOMETRIA E MASSA	Descrição	Muito grande	Grande	Médio	Pequeno	Muito Pequeno	
		Classificação	0	2.5	5	7.5	10	
	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	Descrição	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	
		Classificação	0	2.5	5	7.5	10	
	CONSTRUÇÃO	Descrição	Muito desfavorável	Desfavorável	Intermédia	Favorável	Muito favorável	
		Classificação	0	5	7.5	10	15	
	DESEMPENHO	Descrição	Muito fraco	Fraco	Razoável	Bom	Muito Bom	
		Classificação	≤0	5	7.5	10	15	
Índice de Engenharia Geológica (EGI)			Índice de Projeto e Desempenho (DPI)			WSR		

## Classificação de Perigo para Escombreyras e Pilhas

Para fins descritivos e para simplificar a comparação de diferentes configurações alternativas possíveis ou abordagens de desenho conceptual para uma determinada escombreyra ou pilha, e em reconhecimento de natureza um tanto subjetiva do esquema de classificação, o intervalo possível de valores de WSR foi subdividido em cinco categorias ou classes de perigo para escombreyras e pilhas (WHC), conforme mostrado na Tabela 9. Uma descrição qualitativa do perigo de instabilidade é associada a cada classe para ajudar a transmitir seu potencial relativo de instabilidade.

Tabela 9: Sumário da classificação de estabilidade das escombreyras e pilhas, classes de perigo e perigo de instabilidade

WSR	WHC	Perigo de Instabilidade
80-100	I	Perigo Muito Baixo
60-80	II	Perigo Baixo
40-60	III	Perigo Moderado
20-40	IV	Perigo Alto
< 20	V	Perigo Muito Alto

Também pode ser esclarecedor traçar os resultados do WSR no gráfico da Figura 4. Este gráfico ilustra a ponderação relativa dos índices EGI e DPI e facilita a comparação de escombreyras e pilhas e possíveis configurações alternativas ou fases de desenvolvimento para uma determinada escombreyra ou pilha. O sistema WSRHC pode ser utilizado como um guia para o nível de esforço necessário para investigar, projetar e construir escombreyras. Escombreyras e pilhas com classificações de estabilidade mais baixas, ou que se enquadram em classes de perigo mais altas, logicamente devem exigir mais esforço de investigação e planeamento e maior supervisão durante a construção e operação do que escombreyras e pilhas com classificações de estabilidade mais altas ou que caem em classes de menor perigo.

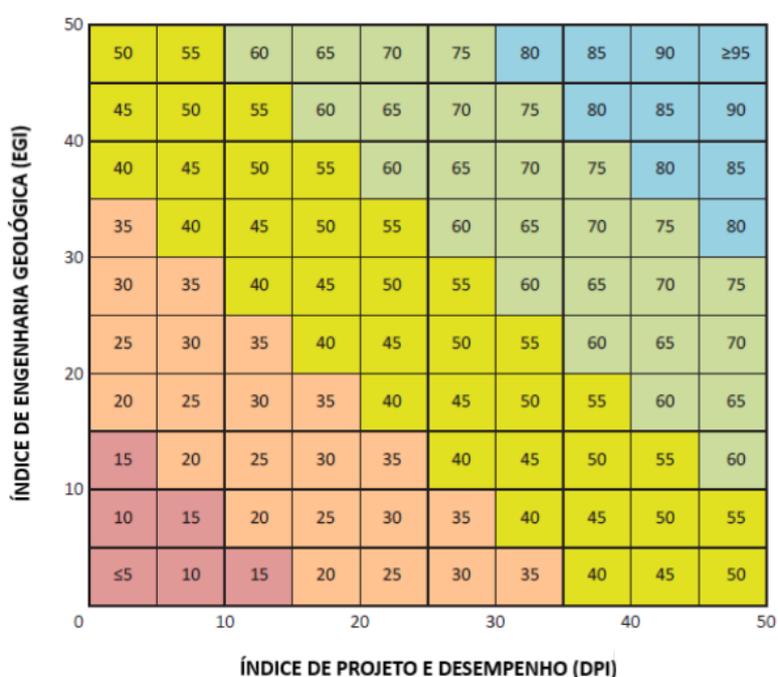


Figura 4: Gráfico de classificação da estabilidade de escombreyras e pilhas e classes de perigo

A Tabela 10 fornece sugestões sobre o nível de esforço apropriado para a investigação e caracterização do local, análise e planeamento, e fases de construção e operação no ciclo de vida de uma escombreira ou pilha baseado no WSR e no WHC.

*Tabela 10: Nível de esforço sugerido com base na classificação de estabilidade das escombreiras e pilhas/classes de risco (WSR / WHC)*

Classe de Estabilidade		Nível de Esforço		
Classificação de Estabilidade de Escombreiras e Pilhas (WHC)	Perigo de Instabilidade	Investigação e Caracterização	Análise e Projeto	Construção e Operação
I	Perigo muito baixo	Estudos de secretária básicos para estabelecer as classificações iniciais de estabilidade e de perigos; reconhecimento básico do local de estudo para confirmar as principais suposições do estudos de secretária e planear investigações de campo; cartografia limitado e testes em poços para estabelecer/verificar as condições de subsuperfície; parâmetros dos materiais baseados na literatura/experiência e validados por ensaios limitados de índices de campo e de laboratório; início da monitorização ambiental de base; sondagens para verificar que não existe mineralização na área de implantação das estruturas/infraestruturas	Análise de estabilidade simplificada para verificar se a estabilidade não influencia o desenho conceptual e se os potenciais impactos são mínimos; desenho conduzido por especialista geotécnico com revisão por pares	Mínima preparação do local; restrições mínimas à construção; monitorização visual periódica; inspeção periódica por um especialista geotécnico
II	Perigo baixo	Estudos de secretária para estabelecer as classificações iniciais de estabilidade e de perigos; reconhecimento do local de estudo para confirmar as principais suposições dos estudos de secretária e planear investigações suplementares de campo; cartografia e testes em poços para conforme necessário para verificar as condições de subsuperfície; parâmetros dos materiais baseados na literatura/experiência e validados por ensaios de índices de campo e de laboratório; início da monitorização ambiental de base; sondagens para verificar que não existe mineralização na área de implantação das estruturas/infraestruturas	Análise de estabilidade para verificar se a estabilidade tem impacto limitado no desenho conceptual; desenho conduzido por especialista geotécnico experiente com revisão por pares	Limitada preparação do local, pode incluir desvios menores; limitadas restrições à construção; instrumentação padrão e monitorização visual com planos de resposta à ação de desencadeamento (TARP) básicos; inspeções periódicas por especialista geotécnico experiente
III	Perigo moderado	Estudos de secretária abrangente para estabelecer as classificações iniciais de estabilidade e de perigos; reconhecimento detalhado do local de estudo para confirmar suposições do estudos de secretária; cartografia e estudos de subsuperfície detalhados, provavelmente incluindo poços/trincheiras e limitadas sondagens e amostragem; instrumentação e testes <i>in situ</i> para verificar as propriedades do material da fundação e do enchimento; início da monitorização ambiental de base abrangente; sondagens para verificar que não existe mineralização na área de implantação das estruturas/infraestruturas	Análise de estabilidade abrangente, incluindo considerações sobre potenciais desvios; avaliação quantitativa de riscos; dimensionamento moderadamente restringido pela estabilidade e potenciais impactos; estudos de otimização de desenho e mitigação de impactos; desenho conduzido por especialista geotécnico experiente com revisão de desempenho por pares	Moderada preparação do local, pode incluir sub-drenagem e desvios; limitada instrumentação de fundação para verificar o desempenho; medidas de mitigação de desvios, se necessário; sequência de construção moderadamente restrita; controlo da qualidade e posicionamento do enchimento conforme necessário; restrições de carregamento/taxa de avanço; instrumentação padrão e monitorização visual com TARPs bem definidos; inspeções periódicas (no mínimo anuais) por especialista geotécnico experiente
IV	Perigo elevado	Estudos de secretária detalhados para estabelecer as classificações iniciais de estabilidade e de perigos; reconhecimento abrangente do local de estudo para	Estudo faseado de desenho conceptual com análises detalhadas de estabilidade das fases intermédias e final, incluindo avaliações dos desvios; estudos paramétricos;	Preparação moderada a extensiva do local pode incluir sub-drenagem e desvios; instrumentação de fundação e enchimento; medidas de mitigação de desvios; ; sequência de construção moderadamente restrita com

confirmar suposições do estudos de secretária; cartografia e estudos de subsuperfície detalhados e faseados, provavelmente incluindo poços/trincheiras, geofísica, sondagens e amostragem especializadas; instrumentação e testes *in situ* e índices laboratoriais e ensaios de resistência ao cisalhamento para estabelecer as propriedades do material de fundação e enchimento com elevado nível de confiança; início da monitorização ambiental de base abrangente; sondagens para verificar que não existe mineralização na área de implantação das estruturas/infraestruturas

dimensionamento restringido pela estabilidade e potenciais impactos; avaliação semi-quantitativa de riscos; estudos de otimização, *trade-off* e mitigação; desenho conduzido por especialista geotécnico experiente com revisão por pares; revisão por outros especialistas em fases críticas do projeto

controlo da qualidade e posicionamento do enchimento; restrições moderadas a severas de carregamento/taxa de avanço; instrumentação detalhada e monitorização visual com redundância; TARPs bem definidos/específicos para o local; inspeções e revisões frequentes por especialista geotécnico experiente; revisão anual ou ainda mais frequente por outros especialistas

V	Perigo muito elevado	<p>Estudos de secretária detalhados para estabelecer as classificações iniciais de estabilidade e de perigos; reconhecimento abrangente do local de estudo para confirmar suposições do estudos de secretária; cartografia e estudos de subsuperfície faseados, provavelmente incluindo extensos poços/trincheiras, geofísica, sondagens e amostragem especializadas; instrumentação e testes <i>in situ</i> abrangentes e índices laboratoriais abrangentes e sofisticados e ensaios de resistência ao cisalhamento para estabelecer as propriedades do material de fundação e enchimento com elevado nível de confiança; extenso programa de monitorização ambiental de base; sondagens para verificar que não existe mineralização na área de implantação das estruturas/infraestruturas</p>	<p>Estudo faseado de desenho conceptual com análises abrangentes e sofisticadas de estabilidade das fases intermédias e final; avaliações detalhadas dos desvios; estudos paramétricos; dimensionamento fortemente restringido pela estabilidade e potenciais impactos; avaliação quantitativa de riscos; estudos detalhados de otimização, <i>trade-off</i> e mitigação; desenho conduzido por especialista geotécnico experiente com revisão de desempenho por pares; revisão pelo conselho de especialistas em fases críticas do projeto</p>	<p>Preparação extensiva do local, possivelmente incluindo sub-drenagem e desvios críticos; instrumentação de fundação e enchimento; medidas de mitigação de desvios; sequência de construção altamente restrita com controlo cuidadoso da qualidade e posicionamento do enchimento; restrições severas de carregamento/taxa de avanço; extensa instrumentação (multi-sistema) e monitorização visual com redundância; TARPs bem definidos/específicos para o local; inspeções e revisões frequentes por especialista geotécnico experiente; revisão anual ou ainda mais frequente pelo conselho de especialistas</p>
---	----------------------	---	---	--