

# Revista Brasileira de Engenharias

ISSN 3085-8089

vol. 2, n. 1, 2026

## ... ARTIGO 2

Data de Aceite: 20/01/2026

# ANÁLISE ECONÔMICA DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

**Heloiza Gabrielle Ribeiro Gomes**

Estudante de Engenharia Civil, Instituto Federal do Espírito Santo

**André Pereira Pinto**

Professor Mestre, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal do Espírito Santo

**Isis Cler Depolli**

Professora Mestre, Departamento de Engenharia Civil – Instituto Federal do Espírito



Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

**Resumo:** Este artigo apresenta uma análise econômica comparativa entre duas tipologias usuais de estruturas de contenção: muros de gravidade e muros de flexão (tipo L). O estudo foi desenvolvido com base em dados geotécnicos representativos do município de Nova Venécia (ES), caracterizado por relevo acidentado e predominância de Latossolos e Argissolos, onde há grande demanda por soluções de contenção em obras viárias e urbanas. A metodologia envolveu a revisão de normas técnicas nacionais (ABNT NBR 11682:2009, NBR 6118:2023 e NBR 6122:2019), modelagem estrutural de ambas as tipologias e análise de viabilidade técnica e econômica para alturas de 1,0 m a 5,0 m, em incrementos de 0,25 m. Foram considerados parâmetros geotécnicos reais, condições de drenagem adequadas e custos atualizados com base no SINAPI (2025). A partir do dimensionamento estrutural, foram obtidas curvas de correlação entre altura e custo por metro linear, permitindo comparar o desempenho estrutural e o impacto financeiro das soluções. Os resultados mostraram que os muros de flexão apresentam menor custo inicial e são mais vantajosos até aproximadamente 4 metros de altura, enquanto os muros de gravidade se destacam em alturas menores (até 2 metros) ou em situações com restrições de armaduras e mão de obra especializada. O estudo reforça a importância da correta caracterização do solo e da drenagem para o desempenho das estruturas. As curvas obtidas podem servir como ferramenta prática de apoio à tomada de decisão em projetos de contenção, contribuindo para a racionalização técnica e econômica em contextos regionais similares.

**Palavra-Chave:** muros de contenção, análise econômica, muros de gravidade, muros de flexão.

## Introdução

### Problema Analisado

A escolha entre diferentes tipologias de muros de contenção é um desafio recorrente em regiões de topografia irregular, como no Noroeste do Espírito Santo. Em municípios como Nova Venécia, onde a transição entre áreas planas e montanhosas é acentuada, obras de contenção são frequentes e exigem soluções que conciliem estabilidade, viabilidade econômica e adequação às condições locais. No entanto, a predominância de métodos empíricos e a escassez de estudos técnico-econômicos regionalizados dificultam a definição criteriosa entre alternativas como muros de gravidade e muros de flexão (tipo L), frequentemente utilizadas na prática local. Além da ausência de diretrizes específicas, fatores como a disponibilidade de materiais, os custos logísticos e as características geotécnicas dos solos da região impactam diretamente na escolha da solução mais eficiente. A falta de parâmetros comparativos claros, especialmente em função da altura da contenção, compromete o desempenho técnico e econômico das obras. Assim, torna-se necessário analisar comparativamente essas tipologias dentro de uma faixa de altura recorrente (1 a 5 metros), a fim de estabelecer critérios objetivos que orientem a tomada de decisão em projetos de contenção no contexto regional.

### Histórico

As primeiras estruturas de contenção surgiram na Mesopotâmia (3200-2800 a.C.), sendo empregadas com finalidades semelhantes às atuais, como a estabilização de encostas (Hachich et al., 1998). Inicialmente, predominavam os muros de gravi-

dade, cujos custos aumentavam significativamente com a altura da estrutura (Andrade, 2018). Entretanto, os avanços tecnológicos, aliados ao desenvolvimento de novos materiais – como o concreto armado, a protensão, os geotêxteis e entre outros – contribuíram de forma expressiva para a execução de construções mais resistentes, duráveis e com melhor relação custo-benefício.

No Brasil, a importância das estruturas de contenção torna-se evidente diante da recorrência de deslizamentos de terra. Segundo a Agência Brasil (2023), o país registrou 959 ocorrências em 269 municípios entre 1988 e 2022, com mais de 4.100 mortes. Essas estruturas são fundamentais para segurança da população, o uso adequado do solo e a viabilização da expansão urbana, principalmente em áreas densamente ocupadas, onde a implantação de taludes naturais é inviável (Lobo, Ferreira e Renofio, 2003).

## Referencial Teórico

### Definição e Classificação dos Muros de Arrimo

Os muros de arrimo são estruturas lineares utilizadas para conter maciços de solo, resistindo aos empuxos gerados pelo terreno e prevenindo deslizamentos e instabilidades. Essas estruturas geralmente são compostas por paredes verticais ou levemente inclinadas, apoiadas sobre fundações rasas ou profundas, conforme as características do solo e as cargas atuantes. Segundo Hachich et al. (1998), estruturas de contenção são definidas como aquelas projetadas para resistir aos esforços horizontais provenientes dos solos, desempenhando papel fundamental na estabilidade de taludes e terrenos em desnível,

além de contribuir para a segurança de construções próximas.

Das (2014) classifica os muros de arrimo em quatro categorias principais: muros de gravidade, semi-gravidade, flexão e contraforte. Cada tipo apresenta características distintas quanto ao funcionamento estrutural e critérios de dimensionamento, sendo escolhidos conforme as condições geotécnicas e os objetivos do projeto. Este estudo se concentra nas tipologias de gravidade e de flexão, por serem amplamente utilizadas em obras de contenção no Noroeste do Espírito Santo, região caracterizada por relevo acidentado e presença frequente de áreas urbanizadas com desníveis acentuados.

### Condições de Estabilidade

A verificação da estabilidade dos muros de contenção deve considerar mecanismos de falha como tombamento, escorregamento, ruptura e deformações no solo de fundação, além da interação solo-estrutura (Genário et al., 2019). No caso do tombamento, a estabilidade rotacional é garantida quando o momento resistente, geralmente proporcionado pelo peso próprio do muro, supera o momento solicitante causado pelo empuxo do solo (Kapt, 2020). Para o escorregamento, a estabilidade horizontal é assegurada quando as forças resistivas, incluindo o empuxo passivo, equilibram o empuxo ativo aplicado à estrutura (Reis e Prado, 2018).

A segurança à ruptura por capacidade de carga da fundação depende da tensão admissível do solo e da posição da resultante das forças atuantes. Conforme Gerscovich (2010), quando essa resultante se encontra dentro do núcleo central da base, o solo é submetido apenas a tensões de compressão,

permitindo um comportamento estável e a formação de um diagrama de pressões aproximadamente trapezoidal. Essas verificações são fundamentais para garantir o desempenho global da estrutura de contenção.

## Tipologias Estruturais e Condicionantes Regionais

As estruturas de contenção mais utilizadas nas regiões urbanas e com relevo acidentado do Noroeste do Espírito Santo, são os muros de flexão e os muros de gravidade, cuja escolha depende das características geotécnicas do solo, altura da contenção e contexto construtivo.

Os muros de flexão, geralmente em concreto armado, resistem ao empuxo por meio da flexão de seus elementos estruturais. Conforme a NBR 11682 (ABNT, 2009), podem ser monolíticos ou contar com apoio parcial do solo sobre a base, exigindo análises detalhadas além das verificações globais usuais. Por apresentarem geometria mais esbelta e menor volume de material, são comuns em áreas urbanas com restrições de espaço e necessidade de menor impacto visual. Para alturas superiores a 5 metros, é comum o uso de contrafortes e vigas de enrijecimento (Genário et al., 2019), o que eleva significativamente os custos. Além disso, seu uso requer avaliação cuidadosa das condições de fundação e rebaixamento do lençol freático em solos saturados (Hachich et al., 1998).

Em contrapartida, os muros de gravidade atuam como blocos maciços cuja massa própria garante a estabilidade, dispensando armaduras. Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009), seu dimensionamento deve considerar tombamento, deslizamento e capacidade de suporte da fundação, exigindo que a força resultante atue dentro do terço central da

base. Podem ser construídos com diversos materiais, como concreto simples, concreto ciclópico, gabiões ou blocos modulares. O concreto ciclópico, por exemplo, é vantajoso por aumentar a massa e reduzir o consumo de cimento (Portal do Concreto, 2022). São eficientes até cerca de 5 metros de altura (MELO, 2022), desde que bem compatibilizados com o solo e cargas atuantes.

## Importância da Drenagem nos Muros de Contenção

A NBR 11682 (ABNT, 2009) destaca que os sistemas de drenagem são essenciais para a segurança dos muros de contenção, pois a acumulação de água no solo adjacente aumenta significativamente a pressão sobre a estrutura, podendo causar rupturas. A norma recomenda o uso de soluções combinadas, como camadas drenantes, drenos e filtros.

Em terrenos com lençol freático elevado, drenos profundos ou valas drenantes podem ser aplicados, interceptando a água antes que alcance a estrutura (LOPES; LIMA, 2017). Segundo a NBR 11668 (ABNT, 2009), toda a água captada deve ser corretamente direcionada a sistemas adequados, evitando o descarte direto no terreno, que pode comprometer a estabilidade do solo e do muro.

## Metodologia

A metodologia adotada iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre muros de contenção, abordando estabilidade estrutural, dimensionamento e viabilidade econômica. Foram consultadas normas técnicas brasileiras, como a NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6122 (ABNT, 2019) e NBR 11682 (ABNT, 2009), além de referências

clássicas da engenharia geotécnica (Mello & Teixeira, 2006; Caputo, 2009) e artigos científicos com foco em comparações estruturais. Com base nesse referencial, realizou-se uma análise comparativa entre dois tipos comuns de contenção na região noroeste do Espírito Santo: muros em flexão e muros de gravidade, conforme mostrado na Figura 1. O objetivo foi avaliar sua viabilidade estrutural e econômica conforme a variação da altura, considerando condições geotécnicas de Nova Venécia (ES).

Foram adotados incrementos de altura de 25 cm, entre 1,0 m e 5,0 m, abrangendo obras típicas de pequeno e médio porte. Esse intervalo, permitiu gerar curvas de correlação entre altura e custo, evidenciando tendências e apoiando a tomada de decisão técnica, sem comprometer a representatividade ou aplicabilidade dos resultados.

## Parâmetros do Solo

A caracterização do solo é essencial no dimensionamento de estruturas de contenção, pois suas propriedades geotécnicas influenciam diretamente a estabilidade das soluções. Neste estudo, adotou-se o município de Nova Venécia (ES) como área de análise, devido à escassez de estudos técnicos regionais e à topografia acidentada, comum em áreas com necessidade de obras de contenção. O relevo da cidade é marcado por morros e colinas, com áreas urbanas implantadas em terrenos inclinados, o que a torna representativa para aplicação de contenções em regiões em desenvolvimento urbano e viário.

Com base no Mapa de Solos de Nova Venécia (FAPES), verificou-se o Latossolo Vermelho-Amarelo é o tipo de solo predominante na região, abrangendo aproxima-

damente 65% a 75% da área. Entre suas características, destacam-se a boa drenagem e estabilidade geotécnica. Considerando essas propriedades, foram adotados os parâmetros geotécnicos apresentados na Tabela 1 para o dimensionamento das estruturas de contenção.

## Considerações de Cálculo

O dimensionamento estrutural do muro de contenção seguiu as normas técnicas brasileiras, especialmente a ABNT NBR 6118:2023 e a ABNT NBR 6122:2019, garantindo segurança, durabilidade e viabilidade técnica. Os cálculos consideraram as condições geotécnicas do terreno, assegurando a compatibilidade dos elementos estruturais com os esforços atuantes.

Para a resistência à compressão do concreto, adotou-se o valor de 25 MPa, em conformidade com as recomendações mínimas relacionadas à classe de agressividade ambiental, além de se tratar de uma classe de concreto comumente empregada nas obras da região. Quanto ao aço, empregou-se o tipo CA-50, por ser amplamente disponível no mercado local. Adicionalmente, foram definidos os seguintes detalhes construtivos: cobrimento das armaduras de 40 mm, justificado pelo contato direto das estruturas com o solo, e espessura mínima da parede e da sapata de 15 cm, uma vez que valores inferiores a esses são inviáveis do ponto de vista construtivo, devido à limitação de espaço para o cobrimento e para correta execução das dobras das armaduras.

Nos muros de gravidade, adotou-se uma largura fixa de 50 cm para o topo da parede. Esse valor foi definido com base em análises prévias, que indicaram ser uma dimensão adequada tanto do ponto de vista

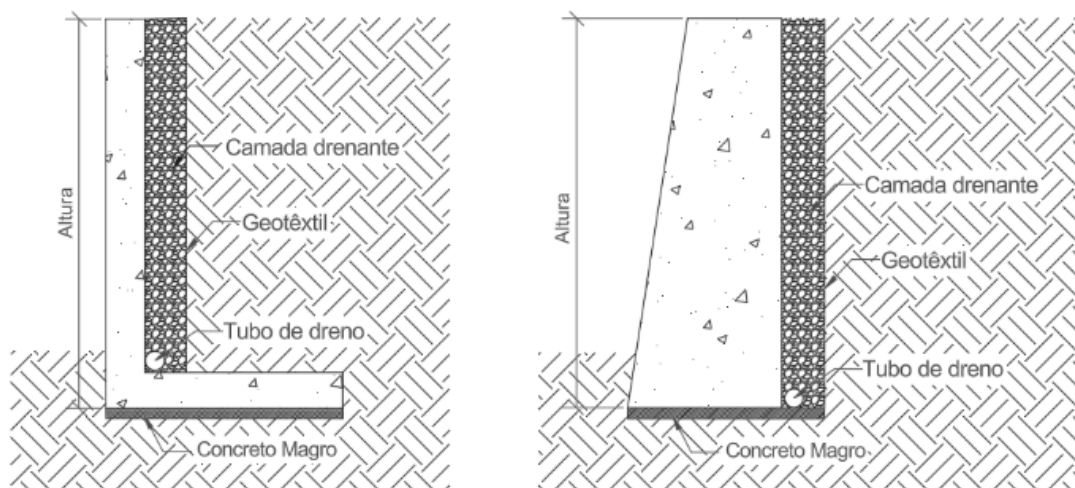


Figura 1: Seção Transversal do Muro de Flexão (à direita) e Gravidade (à esquerda).

Parâmetro	Valor adotado	Faixa Típica	Justificativa
Peso específico ( $\gamma$ )	18 kN/m <sup>3</sup>	17 – 19 kN/m <sup>3</sup>	Solos argilosos compactados (latossolos/argilosolos vermelho-amarelos). Valores típicos para solos tropicais residuais bem intemperizados.
Ângulo de Atrito	30°	28° - 32° (solos médios)	Latossolos e argilossolos com textura média- arenosa, compactados (ABMS,2010; INCAPER e estudos regionais) Representativo de solos com adensamento e drenagem eficiente.
Coesão (c)	25 kN/m <sup>2</sup>	20-30 kN/m <sup>2</sup>	Argilossolos (maior teor de argila) e Latossolos compactados. Condição intermediária para solos da região.
Tensão Admissível ( $\sigma_{adm}$ )	200 kPa	180-250 kPa (fundações)	Compatível com latossolos bem drenados e argilossolos compactados (Teixeira, 2008; Tomlinson, 2001). Adequado para fundações superficiais de pequeno-médio porte.

Tabela 1: Parâmetros Geotécnicos.

estrutural quanto construtivo. Além disso, larguras inferiores a essa podem dificultar a execução da obra, especialmente quando se utiliza concreto ciclópico, devido à necessidade de acomodar agregados graúdos e garantir a adequada compactação da mistura.

Visando melhorar a estabilidade das contenções, principalmente como relação ao deslizamento, foi definido um aterro frontal de 30 cm de profundidade. Essa profundidade mostrou melhor desempenho, após uma série de análises, equilibrando segurança estrutural, resistência ao empuxo e custos total da construção. Espessuras maiores não trouxeram ganhos significativos de estabilidade e aumentaram custos da obra, enquanto espessuras menores não se mostram eficaz no aumento da estabilidade ao deslizamento.

Com relação às cargas consideradas, além dos empuxos ativos e passivos do solo, foi adotada uma sobrecarga no terreno de  $5\text{ kN/m}^2$ . Os empuxos hidráulicos não foram considerados no dimensionamento, uma vez que o solo apresenta boa capacidade de drenagem e foi previsto um sistema de drenagem junto ao tardo das contenções, com a função captar e conduzir a água infiltrada, evitando seu acúmulo na massa de solo contida pelo muro.

## Planilha de Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento das estruturas de contenção foi realizado com o auxílio de duas planilhas eletrônicas (uma para muros de flexão e outra para muros de gravidade) desenvolvidas especificamente para as condições analisadas neste estudo. Para sua elaboração, utilizou-se como base uma planilha de dimensionamento de contenções

elaborada pelo Professor Fernando Musso Júnior, da Universidade Federal do Espírito Santo, a qual foi adaptada para atender às particularidades dos casos abordados neste trabalho.

A partir dos dados de entrada, a planilha verifica a estabilidade da contenção, dimensiona as armaduras, determina a quantidade dos materiais necessários para sua construção e calcula o custo da construção, tomando como referências os custos unitários dos materiais disponibilizados pelo SINAPI.

Para os muros de contenção analisados, foram adotadas geometrias distintas. O muro em flexão apresenta-se com formato em “L”, composto por uma base horizontal (sapata) e uma parede vertical, utilizando o peso do solo sobre a sapata como elemento adicional de equilíbrio aos empuxos gerados pelo desnível do terreno (Figura 2). Por sua vez, o muro de gravidade possui seção transversal trapezoidal e é concebido como uma estrutura monolítica de concreto ciclópico, sem armaduras, cuja estabilidade é garantida predominantemente por seu próprio peso (Figura 3).

A estabilidade dos muros de contenção foi analisada considerando três aspectos principais: tombamento, deslizamento e a capacidade de carga do solo da fundação. A verificação contra o tombamento assegurou que o muro possui resistência suficiente para resistir aos momentos gerados pelos empuxos e pelo peso próprio, sem risco de rotação. A análise de deslizamento levou em conta as forças horizontais atuantes, garantindo que a aderência entre o muro e o solo fosse suficiente para prevenir qualquer deslocamento horizontal. Além disso, a capacidade de carga do solo foi avaliada para assegurar que as pressões exercidas pelas fun-

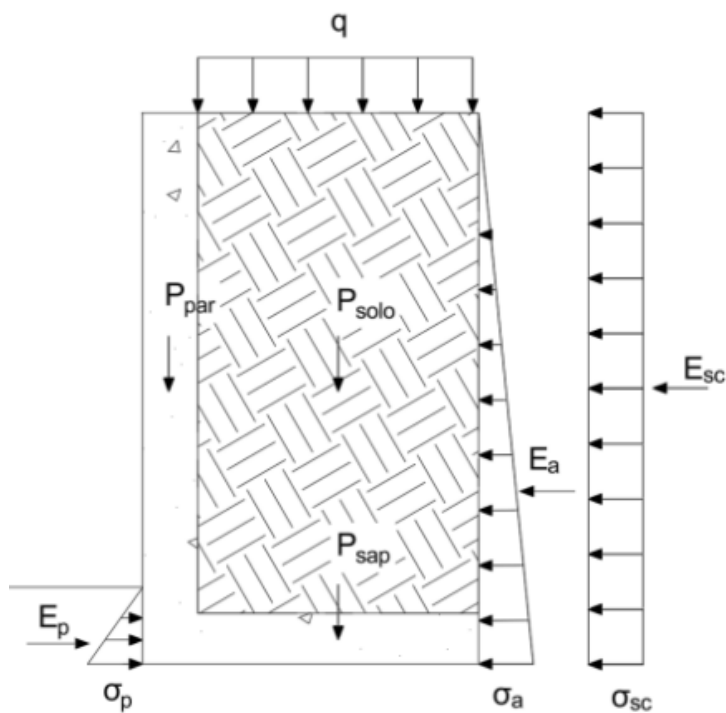


Figura 2: Seção transversal do muro de flexão com os esforços.

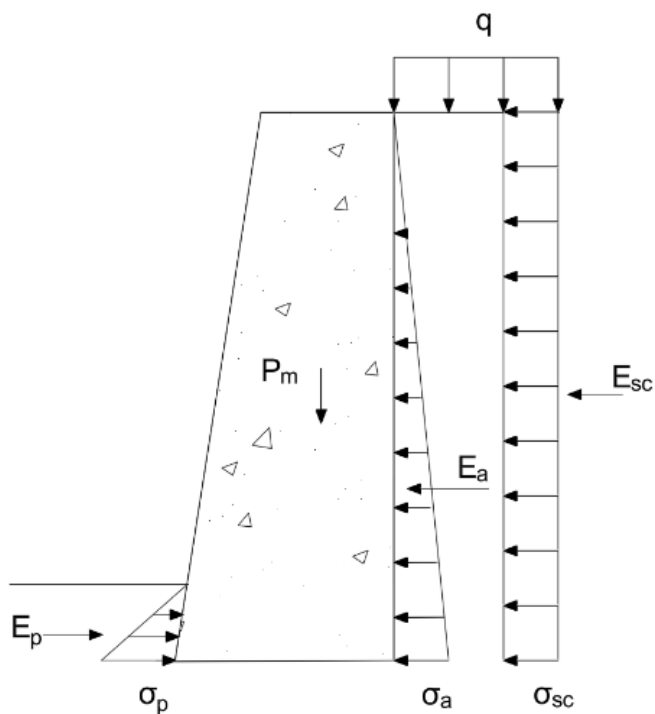


Figura 3: Seção transversal do muro de gravidade com os esforços.

dações estivessem dentro dos limites admissíveis, confirmando que as dimensões adotadas para as fundações eram adequadas em relação às cargas aplicadas e às características geotécnicas do terreno. A Tabela 2, resume as verificações de estabilidade analisadas.

Para o muro de flexão a planilha de cálculo dimensiona as armaduras longitudinais e transversais necessárias para resistir aos esforços de flexão, garantindo a integridade estrutural da contenção.

## Análise econômica

A avaliação econômica dos muros de contenção considerou os seguintes itens custo para da construção: concreto C25, aço CA-50, concreto magro, formas, camada drenante, geotêxtil não tecido, tubos de PEAD para dreno e drenos tipo barbacã.

Para a estimativa do custo de construção de cada uma das contenções analisadas, foi realizado o levantamento das quantidades de materiais necessários, conforme detalhado na Tabela 3. As quantidades apuradas foram multiplicadas pelos respectivos custos unitários obtidos no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), possibilitando a determinação do custo direto de execução de cada alternativa estudada. A referência SINAPI utilizada foi a de agosto de 2025, sem aplicação de desoneração fiscal.

Com base nesses dados, foram elaborados gráficos comparativos que relacionaram a variação da altura dos muros com o custo específico de cada componente e do sistema como um todo. Essa metodologia de análise permitiu uma avaliação objetiva do impacto da altura na composição de custos, auxiliando na tomada de decisão quanto à

viabilidade técnica e econômica das soluções adotadas.

## Resultados e discussões

Para a obtenção dos resultados, foram dimensionadas 50 contenções, sendo 25 seções de muros em flexão e 25 seções de muros de gravidade, com alturas variando de 1 a 5 metros. A partir dessa análise, foi possível estabelecer uma relação entre a altura da contenção e as demais dimensões das seções transversais, permitindo identificar padrões geométricos e proporções recorrentes em função da altura da contenção.

### Análise das proporções das seções transversais

Conforme apresentado nos gráficos da Figura 4, a relação entre a largura da sapata e a altura da contenção ( $L/H$ ) para os muros em flexão foi, em média, de aproximadamente 65%, valor compatível com o intervalo de 50% a 70% sugerido na literatura técnica. Para os muros de gravidade, essa relação foi de cerca de 98%, o que reflete a necessidade de uma base mais larga para garantir a estabilidade exclusivamente por meio do peso próprio da estrutura.

Nos muros em flexão, a relação entre a espessura da sapata ( $e_{sap}$ ) e a espessura da parede ( $e_{par}$ ) com a altura do muro ( $H$ ) revela aspectos importantes do comportamento estrutural (Figuras 5 e 6). Para alturas menores, entre 1,0 m e 1,5 m, essa relação varia de 12% a 8%, devido à necessidade de atender a critérios construtivos mínimos, como cobertura das armaduras e viabilidade de execução, o que impede a adoção de espessuras muito reduzidas. À medida que a altura da contenção aumenta (de 1,75 m a 3,25 m), a relação  $e_{sap}/H$  diminui gradualmente

Verificação	Equação	Simbologia
Estabilidade ao tombamento	$M_{est} / M_{inst} > 1,5$	$M_{est}$ : momento estabilizante $M_{inst}$ : momento instabilizante
Estabilidade ao deslizamento	$F_{est} / F_{inst} > 1,5$	$F_{est}$ : força estabilizante $F_{inst}$ : força instabilizante
Excentricidade da carga (núcleo central)	$e_{tot} / L < 1/6$	$e_{tot}$ : excentricidade total L: comprimento da sapata
Pressão máxima no solo	$p_1 / \sigma_{lim} < 1,0$	$p_1$ : pressão máxima sob a sapata $\sigma_{lim}$ : tensão admissível do solo

Tabela 2: Verificações adotadas.

Descrição do insumo	Código	Unidade	Valor unitário (R\$)
Armação de estruturas diversas de concreto Armado, exceto vigas, pilares, lajes e fundações, utilizando aço CA-50 de 10,0 mm.	92919	kg	14,11
Concretagem de cortina de contenção, através de bomba - lançamento, adensamento e acabamento.	100349	m <sup>3</sup>	772,46
Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em madeira serrada, e=25 mm, 1 utilização	96530	m <sup>2</sup>	153,85
Lastro de concreto magro, aplicado em pisos, lajes sobre solo ou radier.	96620	m <sup>3</sup>	750,87
Enchimento de brita para dreno, lançamento mecanizado.	102717	m <sup>3</sup>	182,32
Geotêxtil não tecido 100% poliéster, resistência a tração de 14 kN/m, instalado em dreno fornecimento e instalação.	102713	m <sup>2</sup>	14,14
Tubo de PEAD corrugado perfurado, DN 100 mm, para dreno - fornecimento e assentamento.	102704	m	12,68
Dreno barbacá, DN 100 mm, com material drenante	102724	un	35,82

Tabela 3: Custos unitários dos principais insumos utilizado.

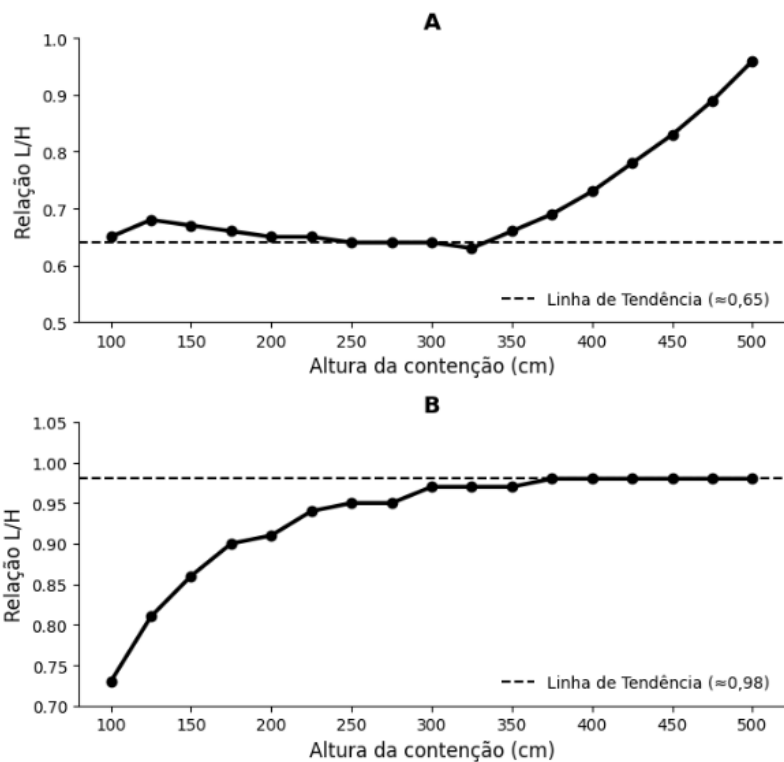


Figura 4: Relação  $L/H$  - (A) Muros de Flexão; (B) Muros de Gravidade

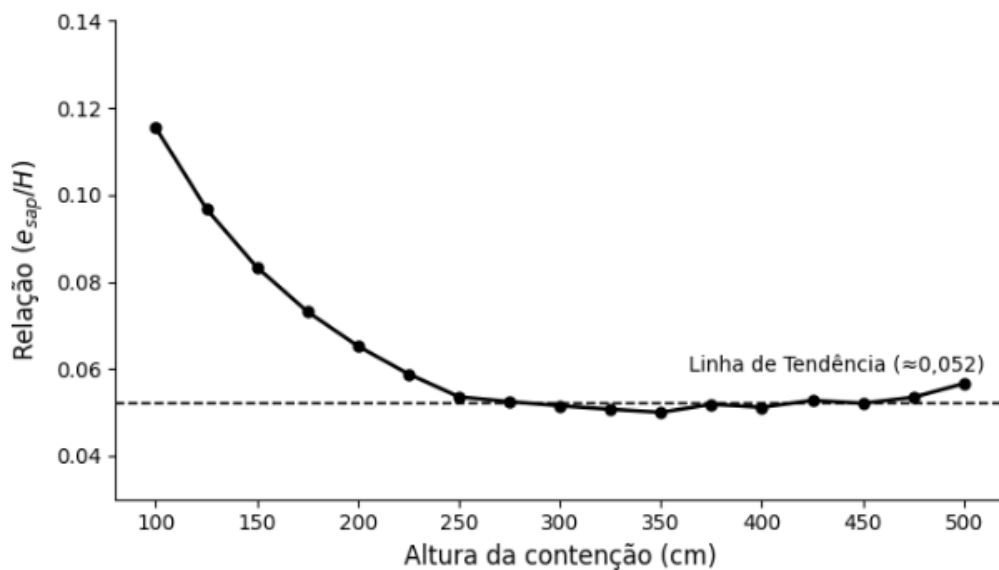


Figura 5: Gráfico da relação  $e_{sap}/H$ .

até cerca de 5%, pois o acréscimo da altura do muro não exige, proporcionalmente, um aumento significativo das espessuras da sapata e da parede. Para alturas superiores, essa relação tende a se estabilizar, uma vez que a espessura passa a ser determinada por critérios estruturais e construtivos mínimos, mantendo-se praticamente constante mesmo com o aumento da altura da contenção.

## Análise Econômica: Custos por Material

O custo de construção dos muros de flexão e de gravidade, em função da altura, é apresentado no gráfico da Figura 7. Em toda a faixa de alturas analisada, de 1 a 5 metros, os muros de flexão mostraram-se mais econômicos do que os muros de gravidade. Isso se deve, em grande parte, ao uso mais eficiente dos materiais estruturais, como o concreto armado, que permite geometrias mais esbeltas e melhor aproveitamento da resistência dos elementos. Por outro lado, os muros de gravidade dependem essencialmente de grandes volumes de concreto ciclópico para garantir a estabilidade, o que eleva substancialmente o consumo de materiais e, consequentemente, o custo final.

Observa-se ainda que ambas as curvas de custo apresentam um comportamento exponencial à medida que a altura da contenção aumenta. Esse crescimento acentuado está associado ao aumento não linear das ações atuantes — principalmente o empuxo do solo, que cresce com o quadrado da altura — exigindo seções transversais progressivamente mais robustas e, portanto, mais onerosas. Esse fenômeno indica que, para alturas superiores a 5 metros, as soluções tradicionais em flexão ou gravidade tendem a se tornar economicamente inviáveis, sendo recomendada a análise de alternativas técnicas

mais adequadas, como muros de terra armada, gabiões ou soluções com ancoragens.

Também foi avaliado o impacto que cada um dos itens que compõem o orçamento da contenção no valor total da construção.

Nos muros de gravidade, conforme já era esperado, os insumos mais representativos no custo total da obra são o concreto e as formas. A curva de custo do concreto apresenta um crescimento exponencial com o aumento da altura, uma vez que a estabilidade da estrutura depende diretamente de seu peso próprio, exigindo volumes crescentes de material. Já o custo das formas tende a crescer de maneira mais linear, acompanhando a variação da área de contato com o concreto. Os elementos de drenagem, por sua vez, representam uma parcela mínima do custo total e exercem impacto financeiro pouco significativo, embora sejam fundamentais para o desempenho e a durabilidade da contenção. A Figura 8 apresenta o gráfico do custo de cada material em função da altura para os muros de gravidade.

Nos muros de flexão, o número de itens que compõem o orçamento da obra é mais diversificado em comparação aos muros de gravidade. Para alturas de até 3 metros, o custo com as formas representa a maior parcela do orçamento, devido à necessidade de moldagem precisa e à maior área de contato com o concreto. No entanto, a partir de alturas superiores a 3 metros, o custo das armaduras passa a ser predominante, refletindo a maior demanda por aço para resistir aos esforços de flexão crescentes. O concreto, por sua vez, ocupa a terceira posição em termos de relevância, com seu impacto financeiro se acentuando em alturas próximas a 5 metros. Assim como nos muros de gravidade, os elementos de drenagem

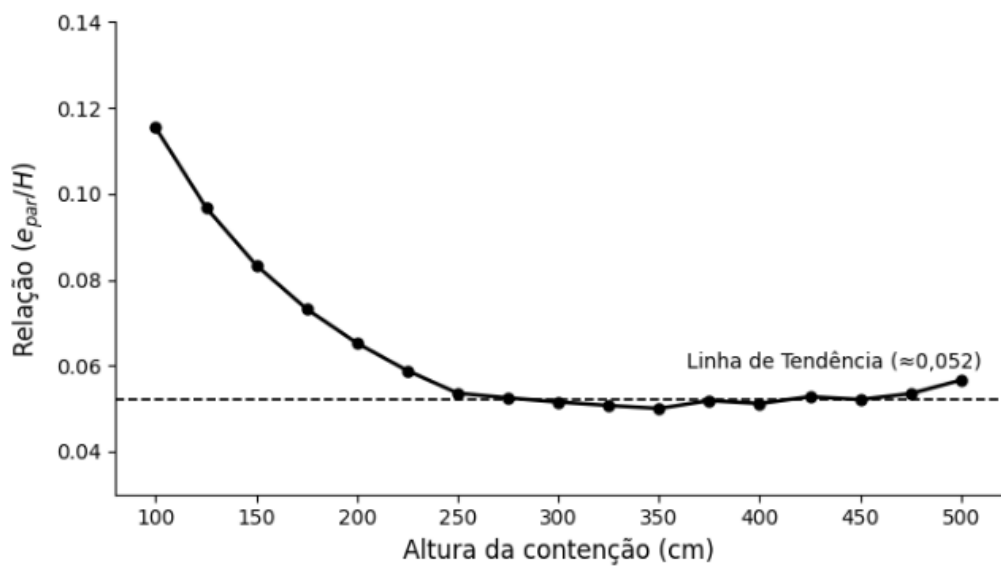


Figura 6: Gráfico da relação  $e_{par}/H$

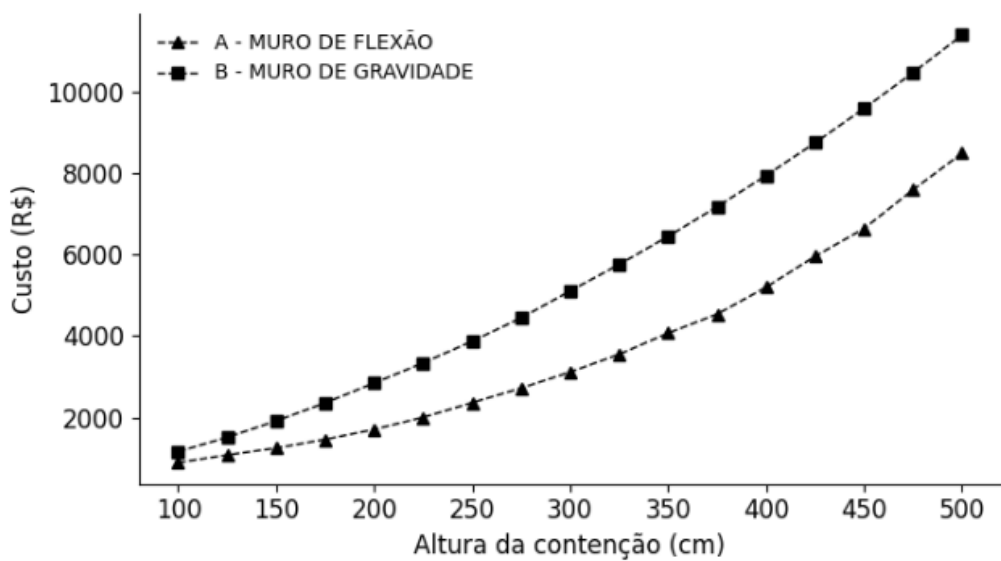


Figura 7: Comparação Custo x Altura.

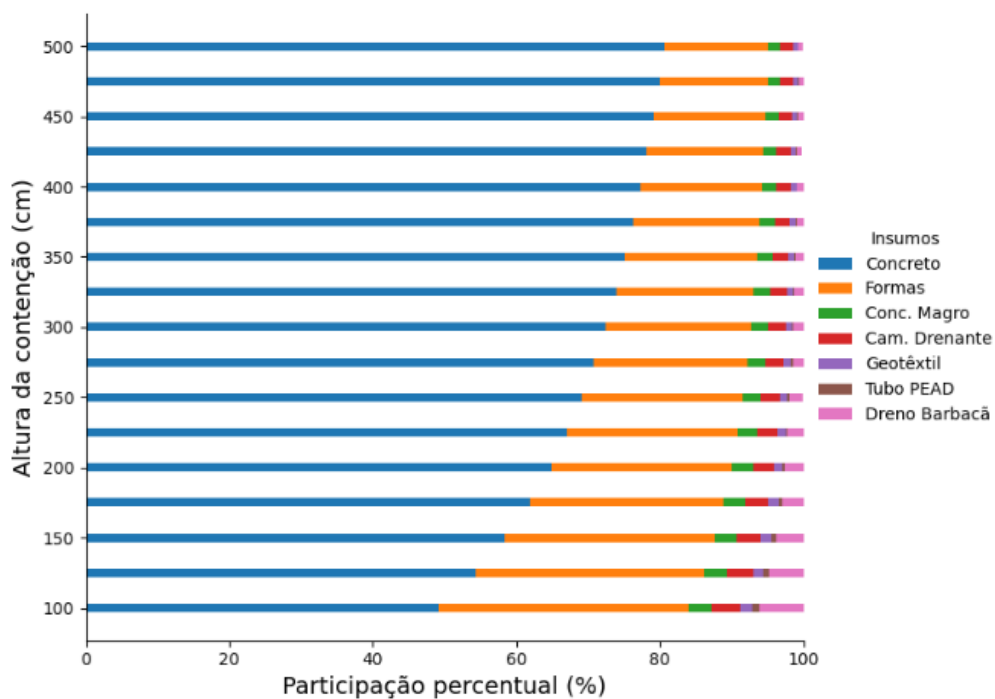


Figura 8: Distribuição dos custos por material - Muro de gravidade.

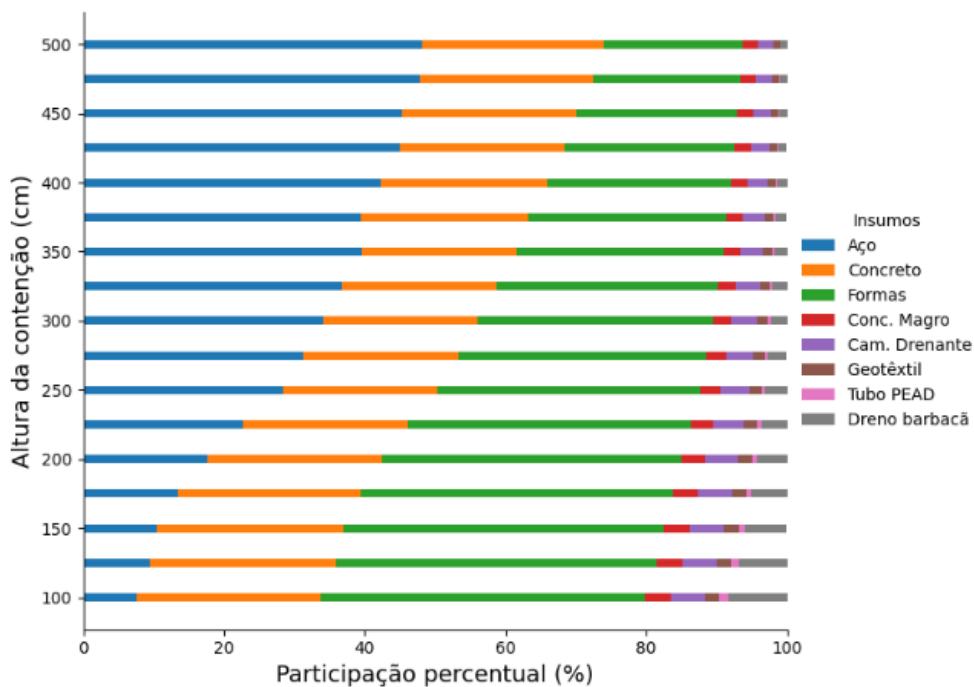


Figura 9: Distribuição dos custos por material - Muro de flexão.

apresentam baixa representatividade no custo total, embora continuem sendo essenciais para a durabilidade e segurança da estrutura. A Figura 9 apresenta o gráfico do custo de cada material em função da altura para os muros de flexão.

## Conclusão

Este trabalho desenvolveu uma análise comparativa entre muros de gravidade e muros de flexão, considerando aspectos geométricos, estruturais e econômicos, com base nas condições geotécnicas do município de Nova Venécia, onde predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo. Os resultados evidenciaram que as duas tipologias apresentam comportamentos distintos quanto às proporções geométricas, distribuição dos esforços atuantes e custos de execução. Essas diferenças reforçam a importância de uma escolha criteriosa da solução de contenção, de acordo com a altura do desnível, as características do solo e os objetivos econômicos do projeto.

A análise das proporções geométricas revelou que, nos muros de flexão, a relação entre a largura da sapata ( $L$ ) e a altura do muro ( $H$ ) é, em média, de 65%, enquanto nos muros de gravidade essa relação se aproxima de 98%, evidenciando os diferentes princípios estruturais que regem cada tipologia — enquanto os muros de flexão utilizam a ação conjugada da sapata e da armadura para resistir aos esforços, os muros de gravidade dependem predominantemente do próprio peso para garantir a estabilidade. Quanto às espessuras das sapatas e das paredes nos muros de flexão, as relações  $e_{sap}/H$  e  $e_{par}/H$  variaram entre 5% e 12%, indicando uma transição de critérios predominantemente construtivos, nas menores alturas,

para critérios estruturais, à medida que a altura do muro aumenta.

A análise econômica realizada neste estudo revelou que, para as condições analisadas, os muros de flexão apresentam menor custo de execução em comparação aos muros de gravidade. Observou-se, ainda, que nos muros de flexão, até a altura de 3 metros, o item de maior impacto no custo total é a fôrma, enquanto para alturas superiores o aço passa a ser o principal componente orçamentário. Já nos muros de gravidade, conforme esperado, o concreto ciclópico representa o item de maior relevância econômica, devido à dependência do peso próprio da estrutura para garantir a estabilidade. Além disso, verificou-se que os elementos de drenagem representam uma parcela pouco significativa do custo total da obra, no entanto, são indispensáveis para a segurança e o desempenho da contenção, pois evitam o acúmulo de água e a consequente elevação das pressões ativas sobre a estrutura.

A análise econômica revelou diferenças significativas. Os muros de flexão demonstraram custo inicial mais baixo, de R\$ 887,27/m para 1 m, alcançando R\$ 8.499,45/m para 5 m. Já os muros de gravidade apresentaram custos superiores, partindo de R\$ 1.175,33/m para 1 m e atingindo R\$ 11.482,64/m para 5 m.

Por fim, os resultados validam as relações geométricas da literatura e fornecem parâmetros para projetos em Nova Venécia, adaptáveis a outras regiões conforme suas condições locais.

## Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11682:2009 – Estabilidade de taludes*. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15088:2023 – Projeto e execução de drenos horizontais profundos*. Rio de Janeiro, 2023.
- AGÊNCIA BRASIL. Brasil está entre os países com maior área atingida por deslizamentos. *Rádio Agência Nacional*, 13 nov. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2023-11/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-atingida-por-deslizamentos>. Acesso em: 31 janeiro 2025.
- ANDRADE, Mariana Oliveira. *Análise comparativa de custos entre estruturas de contenção*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.
- DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. *Fundamentos de engenharia geotécnica*. Tradução: Nove-ritas do Brasil. Revisão técnica: Roberta Boszcowski. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- G1. Muro de contenção com rachaduras preocupa moradores de Colatina, ES. G1 – Espírito Santo, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/norte-noroeste-es/noticia/muro-de-contencao-com-rachaduras-preocupa-moradores-de-colatina-es.ghtml>. Acesso em: 14 maio 2025.
- GENÁRIO, D. C. F. et al. Estrutura de contenção: muro de arrimo por flexão para estabilização de encostas em Muriaé-MG. *Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico*, v. 5, n. 5, art. 85, jul./dez. 2019. Disponível em: <https://revistas.uninter.com/revista/index.php/pensamentocientifico/article/view/3662>. Acesso em: 14 maio 2025.
- GEOGRAFIA NOVA VENÉCIA. *Subsídios paradigmáticos a partir de Nova Venécia/ES e do norte capixaba*. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- HACHICH, Waldemar et al. *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.
- KAPT, H. K. 4 Loading and load securing. *Container Handbook*, 2020. Available at: [http://www.containerhandbuch.de/chb\\_e/stra/index.html?chb\\_e/stra/stra\\_04\\_03\\_07.html](http://www.containerhandbuch.de/chb_e/stra/index.html?chb_e/stra/stra_04_03_07.html). Access on: 31 oct. 2020.
- LOBO, Ademar da Silva; FERREIRA, Cláudio Vidrih; RENOFIO, Adilson. Muros de arrimo em solos colapsíveis provenientes do arenito Bauru: problemas executivos e influência em edificações vizinhas em áreas urbanas. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 169–177, 2003.
- LOPES, Fernando; LIMA, Luis Henrique. *Muros de contenção: projeto e execução*. São Paulo: PINI, 2017.
- MACEDO, Eduardo Soares de; SANDRE, Lucas Henrique. *Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2023. Disponível em: <https://ipt.br/2023/03/29/mortes-por-deslizamentos-no-brasil-1988-a-2022/>. Acesso em: 24 maio 2025.
- MELLO, M. D.; TEIXEIRA, R. A. *Mecânica dos solos: fundamentos e aplicações práticas*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.
- PORTAL DO CONCRETO. *Concreto ciclópico*. [S.l.]: Portal do Concreto, [s.d.]. Disponível em: [inserir URL]. Acesso em: 20 maio 2025.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE COLATINA. *Relatório técnico de inspeção: contenção no bairro São Marcos*. Colatina, 06 mar. 2024. [n.p.].
- REIS, A. A. P.; PRADO, L. F. N. Análise de sensibilidade probabilística aplicada ao tombamento em uma estrutura de contenção. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal São João del-Rei (UFSJ), Ouro Branco, MG, 2018. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/infrageo/ANALISE%20DE%20SENSIBILIDADE%20PROBABILISTICA.pdf>. Acesso em: 31 out. 2020.