

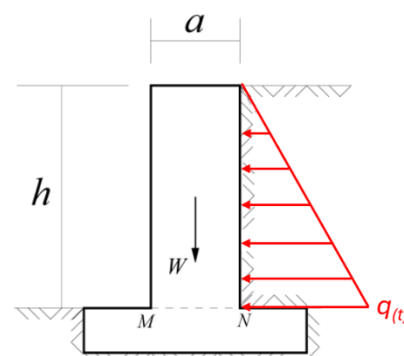
(I) INTRODUÇÃO

O enfrentamento aos severos efeitos das mudanças climáticas constitui um desafio relevante para a segurança dos espaços urbanos. Em áreas de risco de cidades como Juiz de Fora, estruturas de contenção são empregadas para estabilizar taludes e proteger edificações. Em períodos de elevada precipitação, a infiltração de água no solo pode aumentar as solicitações atuantes sobre essas estruturas e modificar seu comportamento mecânico, reforçando a necessidade de sistemas capazes de acompanhar continuamente suas condições de segurança.

Nesse contexto, os profissionais da Engenharia Sanitária e Ambiental são responsáveis por integrar à engenharia de estruturas os conhecimentos relacionados à drenagem urbana, hidrologia, monitoramento ambiental e gestão de riscos. A análise conjunta de dados provenientes de piezômetros e sensores de deformação permite compreender a influência das condições hidrogeotécnicas sobre o comportamento estrutural e subsidiar o planejamento de medidas preventivas e corretivas, contribuindo para a proteção da população, dos recursos hídricos e da infraestrutura urbana.

(II) DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Considere um programa hipotético de monitoramento de 10 muros de arrimo feitos com blocos de concreto de alvenaria estrutural, localizados em diferentes pontos da cidade de Juiz de Fora. O programa é constituído de piezômetros instalados no maciço de solo adjacente aos muros, além de sensores de deformação (tipo *strain gauge*) colados na superfície da base da estrutura, na direção vertical, nos pontos M e N da seção transversal, indicados na imagem ao lado. Para as análises deste trabalho, considere uma faixa de muro de 1 metro de comprimento, perpendicular ao plano da figura ao lado.



A largura (a) e a altura (h) de cada estrutura de contenção estão listados a seguir. Também estão apresentados o módulo de elasticidade longitudinal (E), a tensão limite de tração ($f_{t,lim}$) e o peso específico (γ_m) da alvenaria que constitui o muro, além do coeficiente de empuxo ativo (K_a) e do peso específico do solo no estado natural (γ_{nat}) e saturado (γ_{sat}). De forma simplificada, considere neste trabalho que a tensão limite de compressão da alvenaria com blocos de concreto é igual a 10 vezes a tensão limite de tração. A tensão tangencial resistente poderá ser simplificada, em MPa, como $0,20 + 0,5\sigma$, onde σ é a tensão normal de compressão atuante perpendicularmente às juntas de argamassa da alvenaria.

Estrutura	Bairro	h (m)	a (m)	E (GPa)	γ_m (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	K_a	$f_{t,lim}$ (MPa)	Moradores do local diretamente afetados
A	Santa Terezinha	4,00	1,55	6,4	21,0	17,8	20,5	0,33	0,65	36
B	Grama	3,60	1,45	5,6	20,5	17,5	20,2	0,34	0,60	74
C	Três Moinhos	4,80	2,00	9,6	22,0	18,0	20,8	0,31	0,80	28
D	Paineiras	3,20	1,30	4,8	20,0	17,2	20,0	0,36	0,55	108
E	P. Jardim Burnier	5,20	2,20	8,0	21,5	18,2	21,0	0,32	0,70	63
F	Ipiranga	4,40	1,80	7,2	21,0	17,6	20,4	0,35	0,68	46
G	Cascatinha	3,80	1,55	11,2	23,0	18,5	21,2	0,30	0,90	142
H	Linhares	4,60	1,95	6,0	20,5	17,4	20,3	0,34	0,62	32
I	São Pedro	3,50	1,45	8,8	22,5	18,1	20,9	0,32	0,85	91
J	Santa Luzia	5,00	2,20	10,4	22,0	17,9	20,7	0,33	0,78	55

A seguir são apresentados os endereços aproximados dos muros de contenção hipotéticos deste trabalho.

Estrutura	Endereço aproximado
A	R. Ouro Preto, 373 - Santa Terezinha, Juiz de Fora - MG, 36045-350
B	R. Minas Gerais, 1 – Grama, Juiz de Fora - MG, 36048-290
C	21°44'26.4"S 43°20'19.9"W
D	126 R. Renato Cruz Frederico
E	21°45'43.6"S 43°19'40.4"W
F	130 R. Afonso Gomes
G	330 R. Francisco Vaz de Magalhães
H	R. Diva Garcia, 3293 - Juiz de Fora
I	Rua José Lourenço, 884 - Portal da Torre
J	R. José Orozimbo de Oliveira, 306 - Santa Luzia

O carregamento do solo e da água sobre o muro varia ao longo do tempo t , podendo ser calculado, de forma simplificada, como um carregamento lateral triangular equivalente, com valor nulo no topo do muro e $q(t)$ na base da estrutura:

$$q(t) = \frac{p(t)}{K_a h}$$

onde:

$p(t)$ é a pressão lateral total na base, determinada por:

$$p(t) = K_a \sigma'_t + u(t)$$

onde:

$u(t)$ é a pressão da água do solo, igual a $u(t) = \gamma_w h_{p(t)}$;

σ'_t é a tensão vertical efetiva, aproximadamente igual a $\sigma'_t = \gamma_{nat} [h - h_{p(t)}] + [\gamma_{sat} - \gamma_w] h_{p(t)}$;

$h_{p(t)}$ é a altura piezométrica medida pelo piezômetro, em metros acima da base do muro.

Seguem nas tabelas as medições dos piezômetros e dos *strain gauges*, ao longo de um período de um ano.

Estrutura	Altura medida pelo piezômetro (m)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A	2,66	2,41	2,50	1,83	1,28	0,91	0,73	0,78	1,10	1,60	2,29	2,80
B	2,14	1,94	2,01	1,48	1,04	0,75	0,60	0,64	0,90	1,30	1,85	2,25
C	3,14	2,86	2,96	2,21	1,58	1,17	0,96	1,01	1,38	1,95	2,73	3,30
D	1,71	1,55	1,61	1,19	0,84	0,61	0,50	0,52	0,73	1,05	1,48	1,80
E	3,86	3,51	3,63	2,71	1,94	1,43	1,17	1,23	1,68	2,39	3,35	4,05
F	2,85	2,58	2,68	1,97	1,38	0,99	0,80	0,84	1,19	1,73	2,46	3,00
G	2,00	1,81	1,88	1,39	0,98	0,71	0,57	0,60	0,84	1,22	1,73	2,10
H	3,00	2,72	2,82	2,10	1,50	1,10	0,90	0,95	1,30	1,85	2,60	3,15
I	1,86	1,68	1,75	1,29	0,91	0,66	0,54	0,57	0,79	1,13	1,60	1,95
J	3,67	3,35	3,47	2,61	1,90	1,43	1,20	1,25	1,67	2,32	3,20	3,85

Estrutura	Deformações medidas pelo <i>strain gauge</i> ($\mu\epsilon$)											
	Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun	
	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N
A	-50,4	+30,9	-56,3	+35,5	-54,1	+26,9	-46,7	+22,7	-43,5	+22,7	-42,1	+17,7
B	-53,5	+25,2	-57,0	+25,0	-51,2	+24,6	-42,5	+22,3	-40,9	+20,9	-38,5	+16,2
C	-40,6	+18,2	-40,9	+18,5	-44,0	+23,0	-46,0	+23,6	-48,5	+26,5	-53,2	+30,3
D	-47,2	+29,0	-50,6	+26,4	-54,4	+27,4	-51,9	+24,6	-48,6	+16,1	-46,7	+16,8
E	-57,0	+29,0	-52,0	+24,5	-56,0	+28,0	-48,5	+21,0	-54,5	+28,0	-51,0	+25,0
F	-56,1	+22,6	-43,7	+22,7	-55,2	+27,3	-49,4	+20,2	-41,1	+17,8	-35,2	+18,1
G	-32,2	+10,8	-25,3	+11,4	-25,1	+9,3	-26,3	+7,9	-23,6	+8,9	-23,0	+5,5
H	-62,2	+31,1	-66,7	+25,0	-63,9	+31,7	-50,5	+26,7	-52,3	+16,5	-43,8	+14,9
I	-34,6	+14,2	-25,8	+13,0	-35,1	+13,3	-28,1	+11,0	-28,0	+10,5	-23,8	+6,0
J	-39,0	+18,0	-37,0	+16,0	-44,5	+23,5	-41,5	+20,5	-38,5	+18,0	-37,5	+17,0

Estrutura	Deformações medidas pelo <i>strain gauge</i> ($\mu\epsilon$)											
	Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N	Ponto M	Ponto N
A	-47,5	+17,1	-39,1	+16,5	-48,4	+20,6	-48,0	+27,6	-54,8	+30,7	-65,2	+36,4
B	-47,7	+14,4	-40,1	+13,9	-48,7	+15,3	-41,8	+19,9	-54,4	+25,2	-57,2	+34,0
C	-59,5	+36,6	-69,2	+46,8	-77,7	+56,0	-88,3	+66,4	-94,0	+86,0	-99,0	+96,0
D	-40,9	+15,7	-41,5	+15,2	-48,9	+18,0	-47,2	+24,5	-47,7	+22,7	-50,7	+31,1
E	-50,0	+24,0	-51,5	+25,0	-55,0	+27,0	-59,0	+31,0	-64,0	+36,0	-69,0	+41,0
F	-38,4	+14,7	-35,6	+15,4	-43,1	+14,9	-46,9	+19,3	-59,7	+21,9	-52,2	+26,2
G	-20,3	+4,8	-18,5	+7,2	-23,2	+8,2	-24,0	+8,5	-26,5	+11,0	-26,3	+12,8
H	-51,6	+17,0	-47,1	+15,3	-49,0	+18,2	-50,2	+19,8	-64,6	+30,5	-61,7	+34,6
I	-22,8	+7,5	-27,5	+6,9	-28,4	+9,1	-33,3	+9,6	-33,6	+10,8	-34,6	+15,1
J	-37,0	+16,5	-38,0	+17,0	-41,0	+20,0	-44,5	+23,5	-49,0	+27,0	-52,0	+31,0

(III) OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar o comportamento mecânico de estruturas de contenção submetidas à influência de diferentes condições hidrológicas e ambientais em áreas de risco de Juiz de Fora, com identificação de situações críticas e proposição de soluções de drenagem e controle ambiental, com levantamento de potenciais benefícios para a segurança das estruturas e a redução dos riscos à população.

(IV) TAREFAS

PARTE I:

- Calcular as tensões e deformações esperadas nos pontos M e N, mês a mês, segundo a formulação clássica estudada na disciplina de Resistência dos Materiais.
- Comparar, mês a mês, as deformações calculadas no item a) com as leituras fornecidas pelos *strain gauges*.
- Comparar, mês a mês, as tensões normais calculadas no item a) com a capacidade resistente do material.

PARTE II:

- Caracterização hidrológica e espacial:** Levantar, em bases públicas de dados hidrometeorológicos, registros históricos de precipitação nas proximidades das estruturas de contenção cujos endereços foram fornecidos no item "(II) DESCRIÇÃO DO PROBLEMA". Caracterizar o regime pluviométrico, determinar as médias mensais e anuais, apresentando gráficos, fontes e limitações dos dados. Utilizando dados geoespaciais públicos e alguma ferramenta SIG - Sistema de Informação Geográfica (exemplo: QGIS), georreferenciar cada muro de contenção nas proximidades de seu endereço (o local exato não foi fornecido para que cada grupo tenha um problema diferente), elaborar mapas das áreas de contribuição de águas pluviais a montante das estruturas e apresentar suas características básicas (tamanho total, declividades média, proporções de áreas impermeabilizadas, etc).
- Análise hidrológica e do comportamento estrutural:**
 - Estimar, nas dez localidades, os volumes mensais de escoamento superficial e a parcela potencialmente infiltrada no solo, utilizando os registros pluviométricos, as características do terreno e coeficientes compatíveis com a ocupação do entorno de cada estrutura. Calcular, de forma simplificada, as vazões máximas de escoamento superficial para uma chuva de projeto, justificando o período de retorno considerado, com estimativa dos tempos de concentração.
 - Investigar as relações entre precipitação, escoamento superficial, alturas piezométricas, tensões e deformações das estruturas. Apresentar gráficos de evolução temporal e calcular coeficientes de correlação entre as variáveis. Discutir se as tendências dos dados de monitoramento são compatíveis com o regime pluviométrico histórico, justificando eventuais diferenças com base na topografia, impermeabilização, infiltração, drenagem e resposta dos níveis piezométricos.

- c) **Cenários críticos e intervenções:** Selecionar três cenários mais críticos, considerando as condições hidrológicas e de drenagem, a evolução das tensões e deformações na estrutura, os níveis piezométricos registrados no período de monitoramento, a população potencialmente afetada, as consequências ambientais e os critérios normativos de segurança. Propor e simular intervenções para os três cenários selecionados (exemplos: proposta de possível drenagem superficial e subsuperficial, infraestrutura verde, controle da infiltração, prevenção da erosão, etc.). Recalcular os volumes de escoamento e as vazões máximas, quantificando potencial efeito nas tensões e deformações calculadas na Parte I, em termos de benefícios das intervenções para a segurança estrutural.

OBSERVAÇÃO:

Cada membro do grupo deverá construir (no relatório) e apresentar (no seminário) soluções relacionadas a pelo menos uma das atividades listadas na Parte I e pelo menos uma das atividades listadas na Parte II. Dessa forma, todos os membros do grupo contribuirão para solucionar conteúdos diretamente relacionados à Resistência dos Materiais e à Engenharia Sanitária e Ambiental.

(V) RELATÓRIO

- Cada grupo deverá preparar um relatório contendo:
 - o memorial de cálculo e a solução das tarefas da Parte I e da Parte II;
 - representação gráfica dos dados;
 - contextualização e justificativa para as soluções propostas;
 - descrição detalhada dos métodos, de modo a permitir a reprodutibilidade da obtenção dos resultados;
 - lista das referências citadas ao longo do relatório, no padrão ABNT.
- Cada grupo deve indicar um(a) responsável pelo envio do relatório, em arquivo de formato PDF com nome *GrupoX_Relatorio.pdf* (X é o número de identificação do grupo), para os e-mails:
 - alexandre.cury@ufjf.br
 - gustavo.nalon@ufjf.br
- Data limite para entrega do relatório: 23h59 do dia 29/11/2026.

(VI) APRESENTAÇÃO

- O grupo realizará uma apresentação em 02/12/2026 (os grupos da Engenharia Sanitária e Ambiental apresentarão entre 17h00 e 17h40), de **7 a 10 minutos**, cujos slides mostrem:
 - uma breve contextualização do problema;
 - descrição detalhada da solução proposta nas Partes I e II;
 - uma breve descrição das estratégias utilizadas pela equipe para encontrar as soluções propostas.
- O trabalho será avaliado por uma banca de professores composta pelos professores responsáveis pela disciplina e um professor convidado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFJF.
- A apresentação técnica acontecerá em sala de aula, seguida de arguição.
- Todos os integrantes do grupo deverão participar, de forma equivalente, da apresentação do trabalho.
- Cada membro do grupo deverá responder pelo menos um dos questionamentos na etapa de arguição.
- Um grupo não assistirá a apresentação e arguição dos outros grupos.
- Cada grupo deve indicar um(a) responsável pelo envio dos slides empregados na apresentação, em arquivo de formato PDF com nome *GrupoX_Apresentacao.pdf* (X é o número de identificação do grupo), para os e-mails:
 - alexandre.cury@ufjf.br
 - gustavo.nalon@ufjf.br
- Data limite para entrega da apresentação: 16h00 do dia 02/12/2026.

(VII) CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

- No **relatório** serão avaliados:
 - (i) validade e criatividade da solução (20%);
 - (ii) detalhamento da metodologia utilizada (30%);
 - (iii) clareza e organização na representação (textos, gráficos e tabelas) e discussão dos resultados (50%).

- Na **apresentação** serão avaliados:
 - (i) domínio do tema e didática nas explicações da solução (20%);
 - (ii) cumprimento do tempo definido para apresentação (10%);
 - (iii) clareza e organização de informação nos slides (10%);
 - (iv) domínio do tema e didática ao responder a arguição após a apresentação (60%).

OBSERVAÇÕES
• Como esta não é uma atividade com solução rigidamente definida, serão aceitas propostas de soluções com diferentes níveis de dificuldade. Considerando que a validade e a criatividade da solução é um dos critérios de avaliação, recomenda-se que os grupos proponham soluções desafiadoras e tecnicamente bem fundamentadas. • Considerando que alguns dos parâmetros necessários à resolução do problema não foram fornecidos, espera-se que os grupos desenvolvam soluções distintas, fundamentadas nas hipóteses, considerações e metodologias adotadas ao longo da análise. • Em havendo qualquer suspeita de plágio e/ou uso de modelos LLM para geração do relatório, os participantes terão as suas notas zeradas.