UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
PROCESSO SELETIVO – EDITAL 04/2026
Área de Conhecimento: Eletromagnetismo e Ciência dos Materiais
PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA / GABARITO

QUESTÃO 1: Mecanismos de Condução Elétrica

Enunciado	Com relação aos mecanismos de condução em materiais elétricos, pede-se: a) Conceitue o parâmetro de mobilidade eletrônica e estabeleça sua relação matemática com a velocidade terminal de deriva dos portadores de carga sob um campo elétrico aplicado; b) Apresente a formulação matemática da condutividade elétrica baseada nas características microscópicas do material; c) Explique as principais diferenças nos mecanismos de condução elétrica entre metais e semicondutores quando submetidos à variação de temperatura.
Fundamentação	RAMOS, A. Eletromagnetismo, Ed. Blucher, 1ª Ed, 2016, SP-Brasil. **Seção 3.2 (p. 84-86):** Deduz o conceito microscópico de mobilidade eletrônica (μ) a partir da velocidade terminal de deriva dos portadores sob a ação do campo elétrico atômico e mecânico ($\vec{v} = \mu\vec{E}$). **Seção 3.3 (p. 86-88):** Apresenta a relação constitutiva da densidade de corrente ($\vec{J_c} = \sigma\vec{E}$) e demonstra analiticamente a equação da condutividade ($\sigma = en\mu$). **Seção 3.4 (p. 89-92):** Detalha o comportamento térmico, explicitando o decréscimo da condutividade em metais (espalhamento por fônons) e o crescimento em semicondutores (geração térmica de pares elétron-lacuna).
Padrão de Resposta	**Item a) (0,5 ponto):** O candidato deve definir a mobilidade (μ) como o coeficiente de proporcionalidade entre a velocidade terminal média de deriva e o campo elétrico externo macroscópico aplicado, expressa matematicamente pela relação: $\vec{v} = \mu\vec{E}$. **Item b) (0,5 ponto):** Deve apresentar a equação microscópica da condutividade dada pela relação: $\sigma = en\mu$, caracterizando adequadamente cada variável: a carga elementar do elétron (e), a densidade volumétrica de portadores (n) e a mobilidade (μ). **Item c) (1,0 ponto):** *Metais:* A condução ocorre por elétrons livres. A condutividade diminui com o aumento da temperatura devido à intensificação das vibrações da rede cristalina (espalhamento por fônons), aumentando a taxa de colisões. *Semicondutores:* A condução ocorre por elétrons e lacunas. A condutividade cresce com a temperatura devido ao mecanismo dominante de geração térmica de novos portadores, que supera a redução da mobilidade.

**O padrão de resposta deve estar fundamentado nas bibliografias exigidas pelo Edital, para evitar problemas o professor deverá citar o capítulo/página do livro utilizado.*

Membros da Banca:

Pág. 01 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

Nome do Docente	**Função na Banca**	**Lotação / Centro**
Prof. Aleksander S. Paterno	Presidente Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz	Membro Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof°. Dra. Tamiris G. Bade	Membro Titular	UFSC – Joinville
Prof. Fernando Prioste	Membro Suplente	Engenharia Elétrica / CCT

Assinatura – Presidente da Banca

Assinatura – Membro Titular 1

Assinatura – Membro Titular 2

Assinatura – Membro Suplente

Pág. 02 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

QUESTÃO 2: Comportamento Magnético e Estado Ferromagnético

Enunciado	No que concerne ao comportamento magnético da matéria, disserte sobre o estado ferromagnético abordando os seguintes tópicos: a) A definição de domínios magnéticos e o comportamento macroscópico do material durante o processo que leva à saturação magnética; b) O fenômeno da histerese magnética, diferenciando conceitualmente os parâmetros de magnetização remanescente e campo coercitivo; c) A origem física da dissipação de potência em núcleos sujeitos a campos alternados e a dependência funcional da permeabilidade magnética com o campo aplicado.
Fundamentação	RAMOS, A. Eletromagnetismo, Ed. Blucher, 1ª Ed, 2016, SP-Brasil. Cap. 6, p. 197-207 e p. 223-225. **Seção 6.2 (p. 197-199):** Conceitua a magnetização espontânea, o acoplamento de troca quântico, os Domínios de Weiss, as paredes de Bloch e descreve o comportamento até a saturação magnética (B_s). **Seção 6.3 (p. 200-202):** Explica o fenômeno físico da Histerese Magnética, mapeia o laço de magnetização e define magnetização remanescente (B_r) e campo coercitivo (H_c). **Seção 6.4 (p. 202-205):** Demonstra a não-linearidade e a dependência funcional da permeabilidade magnética ($\mu = B/H$). **Seção 6.10 (p. 223-225):** Trata da dissipação de potência (perda por histerese e correntes induzidas de Foucault). SHACKELFORD, J. F. Ciência dos Materiais, Ed. Pearson, 6ª Ed, Capítulo 13, Seção 13.2.
Padrão de Resposta	**Item a) (0,5 ponto):** O estado ferromagnético manifesta-se abaixo da Temperatura de Curie (T_C) devido ao acoplamento de troca quântico. O material se subdivide em Domínios Magnéticos separados por paredes de Bloch. Sob campo externo (H), ocorre o deslocamento das paredes e a rotação dos domínios até atingir a Saturação Magnética (B_s). **Item b) (0,5 ponto):** A Histerese Magnética é um efeito de memória causado pelo travamento irreversível das paredes de domínio. Ao fazer $H = 0$, o material retém uma indução residual denominada Indução Remanescente (B_r). Para anular completamente esse fluxo ($B = 0$), faz-se necessária a aplicação de um campo reverso definido como Campo Coercitivo (H_c). **Item c) (1,0 ponto):** A magnetização alternada dissipa energia térmica por: 1) *Perdas por Histerese*, proporcionais à área interna do laço por ciclo; 2) *Perdas por Correntes Induzidas (Foucault)*, causadas por correntes induzidas pela Lei de Faraday em núcleos condutores. A permeabilidade ($\mu = B/H$) varia de forma não-linear, atingindo o máximo próximo a H_c.

**O padrão de resposta deve estar fundamentado nas bibliografias exigidas pelo Edital, para evitar problemas o professor deverá citar o capítulo/página do livro utilizado.*

Pág. 03 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.
22

Membros da Banca:

Nome do Docente	**Função na Banca**	**Lotação / Centro**
Prof. Aleksander S. Paterno	Presidente Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz	Membro Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof°. Dra. Tamiris G. Bade	Membro Titular	UFSC – Joinville
Prof. Fernando Prioste	Membro Suplente	Engenharia Elétrica / CCT

Assinatura – Presidente da Banca

Assinatura – Membro Titular 1

Assinatura – Membro Titular 2

Assinatura – Membro Suplente

Pág. 04 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

QUESTÃO 3: Campo Magnético e Indutância em Cabo Coaxial

Enunciado	No cabo coaxial representado na Figura B, o condutor interno (vazado) está compreendido entre os raios a e $2a$, possuindo permeabilidade magnética uniforme $\mu_1 = 10\mu_0$ e é percorrido por uma corrente total $+I$. O condutor externo situa-se no raio $r = 3a$, possui espessura desprezível e é percorrido por uma corrente total $-I$. A região intermediária entre os condutores ($2a < r < 3a$) é composta por ar ($\mu \approx \mu_0$). a) Calcule a expressão do campo magnético H na região $a \leq r \leq 2a$; b) Calcule a expressão do campo magnético H na região $2a < r \leq 3a$; c) Determine as expressões da indutância por unidade de comprimento para as duas regiões isoladas: $a \leq r \leq 2a$ e $2a < r \leq 3a$; d) Calcule o valor numérico da indutância total por unidade de comprimento considerando os seguintes dados: $a = 5$ cm, $I = 2$ A e $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.
Fundamentação	RAMOS, A. Eletromagnetismo, Ed. Blucher, 1ª Ed, 2016, SP-Brasil. Cap. 3, p. 79-81. **Cálculo dos Campos:** Aplicação da Lei de Ampère em coordenadas cilíndricas para condutores vazados, utilizando a proporcionalidade da corrente envolvida com a área transversal. **Cálculo da Indutância via Energia:** Formulação baseada na densidade de energia magnética armazenada por unidade de comprimento ($W = \frac{1}{2}LI^2 = \int \frac{1}{2}\mu H^2 dV$), integrando em volume cilíndrico ($r\,dr\,d\theta\,dz$).
Padrão de Resposta	**Item a) (0,5 ponto):** $I_{env}(r) = I\frac{r^2-a^2}{3a^2}$. Da Lei de Ampère ($H \cdot 2\pi r = I_{env}$): $\mathbf{H_1(r) = \frac{I(r^2-a^2)}{6\pi a^2 r}}$ **[A/m]** **Item b) (0,5 ponto):** Na região intermediária, $I_{env} = I$. Portanto: $\mathbf{H_2(r) = \frac{I}{2\pi r}}$ **[A/m]** **Item c) (0,5 ponto):** Via integração da densidade de energia ($L = \frac{2W}{I^2}$): Região 1 ($\mu_1 = 10\mu_0$): $\mathbf{L_1 = \frac{5\mu_0}{9\pi}\left(\frac{3}{4} + \ln 2\right)}$ **[H/m]** Região 2 (μ_0): $\mathbf{L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\ln\left(\frac{3}{2}\right)}$ **[H/m]** **Item d) (0,5 ponto):** Como as regiões estão em série, $L_{total} = L_1 + L_2$. Substituindo os valores numéricos: $L_1 \approx 3,207 \times 10^{-7}$ H/m e $L_2 \approx 0,811 \times 10^{-7}$ H/m $\mathbf{L_{total} \approx 4,018 \times 10^{-7}}$ **[H/m]**

**O padrão de resposta deve estar fundamentado nas bibliografias exigidas pelo Edital, para evitar problemas o professor deverá citar o capítulo/página do livro utilizado.*

Membros da Banca:

Pág. 05 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.
24

Nome do Docente	**Função na Banca**	**Lotação / Centro**
Prof. Aleksander S. Paterno	Presidente Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz	Membro Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof°. Dra. Tamiris G. Bade	Membro Titular	UFSC – Joinville
Prof. Fernando Prioste	Membro Suplente	Engenharia Elétrica / CCT

Assinatura – Presidente da Banca

Assinatura – Membro Titular 1

Assinatura – Membro Titular 2

Assinatura – Membro Suplente

Pág. 06 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

QUESTÃO 4: Campo Magnético e Força Eletrodinâmica em Barra Infinita

Enunciado	Numa barra condutora infinita (no sentido perpendicular ao plano da folha $(+z)$ e com $x \to \infty$ no lado direito), mostrada na Figura D, temos uma densidade superficial de corrente $(\mathrm{A/m^2})$ dada por $J(x) = J_0 \cdot L/x$. Considere $e \ll L$. Com base nesta configuração geométrica, determine: a) A expressão do diferencial de corrente dI na barra e a mudança de variável apropriada para a integração com base no ângulo α; b) A integral correspondente e a intensidade resultante do campo magnético total H_y no ponto P; c) A componente da força por unidade de comprimento que a barra exerce no fio localizado no ponto P e percorrido pela corrente I, indicando de forma explícita a direção e o sentido vetorial da força resultante.
Fundamentação	RAMOS, A. Eletromagnetismo, Ed. Blucher, 1ª Ed, 2016, SP-Brasil. **Cálculo do Campo H_y (p. 79-80):** Integração de fatias diferenciais baseada no princípio da superposição de fios infinitos lineares acoplados. **Cálculo da Força Eletrodinâmica (p. 138-139):** Fundamentado na equação clássica de Laplace para forças entre condutores paralelos $(d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B})$, determinando o caráter atrativo.
Padrão de Resposta	**Item a) (0,4 ponto):** O diferencial de corrente é dado por: $dI = J(x) \cdot dS = \left[\frac{J_0 L e}{x}\right] dx$. A mudança de variável geométrica correta com base na Figura D é: $$\mathbf{x = L \cdot \tan(\alpha) \Rightarrow dx = L \cdot \sec^2(\alpha)\, d\alpha}$$ **Item b) (0,8 ponto):** Montagem da integral de superposição com limites radiânicos ($\alpha_0 = \pi/4$ a $\alpha_1 = \pi/2$): $H_y = \int \frac{dI \cdot \sin(\alpha)}{2\pi r} = \frac{J_0 e}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi/2} d\alpha \Rightarrow \mathbf{H_y = \frac{J_0 e}{8}}$ $\mathbf{[A/m]}$ O que resulta em: $\mathbf{B_y = \frac{\mu_0 J_0 e}{8}}$ $\mathbf{[T]}$. **Item c) (0,8 ponto):** A força por unidade de comprimento via Lei de Laplace $(\vec{F}/l = I \times \vec{B_y})$ resulta em: $$\mathbf{\frac{F_x}{l} = \frac{\mu_0 I J_0 e}{8}\ [N/m]}$$ **Análise Vetorial:** Direção paralela ao eixo x, sentido positivo $(+\hat{a}_x)$, caracterizando uma força de **atração magnética**.

**O padrão de resposta deve estar fundamentado nas bibliografias exigidas pelo Edital, para evitar problemas o professor deverá citar o capítulo/página do livro utilizado.*

Membros da Banca:

Nome do Docente	Função na Banca	Lotação / Centro
Prof. Aleksander S. Paterno	Presidente Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz	Membro Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof°. Dra. Tamiris G. Bade	Membro Titular	UFSC – Joinville
Prof. Fernando Prioste	Membro Suplente	Engenharia Elétrica / CCT

Pág. 07 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

Assinatura – Presidente da Banca	Assinatura – Membro Titular 1
Assinatura – Membro Titular 2	Assinatura – Membro Suplente

Pág. 08 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

QUESTÃO 5: Propagação de Ondas em Guias Retangulares Metálicos

Enunciado	Um guia de onda retangular metálico padrão WR-75 possui dimensões internas $a = 19,05$ mm e $b = 9,53$ mm. Suas paredes são de cobre e o meio interno é o ar ($\epsilon \approx \epsilon_0$, $\mu \approx \mu_0$). O guia opera na frequência de 12 GHz sob o modo dominante TE_{10}. Considerando que a estrutura propaga energia na direção $+z$ e que a amplitude máxima do campo elétrico transversal é E_0, pede-se: a) Apresente a equação diferencial parcial (equação de onda) a ser resolvida para este modo e as condições de contorno elétricas nas paredes do guia; b) Demonstre analiticamente a solução matemática, deduzindo as expressões para as componentes de campo não nulas tanto na representação por exponencial complexa (fasorial) quanto no domínio do tempo; c) Calcule os valores numéricos da frequência de corte (f_c), da constante de fase no guia (β) e da impedância de onda do modo (η_{TE}).
Fundamentação	RAMOS, A. Análise de Sistemas Eletromagnéticos, Ed. Blucher, 2016. Capítulo 29: Guias de Onda Metálicos Retangulares. **Seção 29.1 (p. 565-566):** Deduz a equação de Helmholtz a partir das equações de Maxwell e define contornos CEP. **Seção 29.3 (p. 570-571):** Separação de variáveis para modos TE, gerando as distribuições translatórias estáveis. **Parâmetros (p. 567, 571):** Fórmulas de frequência de corte (f_c – eq. 29.13), constante de fase (β – eq. 29.12) e impedância de onda η_{TE} (eq. 29.28).
Padrão de Resposta	**Item a) (0,4 ponto):** Sendo $E_z = 0$, $H_z(x,y,z) = h_z(x,y)e^{-j\beta z}$ deve satisfazer: $$\frac{\partial^2 \mathbf{h_z}}{\partial \mathbf{x^2}} + \frac{\partial^2 \mathbf{h_z}}{\partial \mathbf{y^2}} + \mathbf{k_c^2 h_z} = \mathbf{0}$$ Contornos elétricos (CEP): $\left.\frac{\partial \mathbf{h_z}}{\partial \mathbf{x}}\right\|_{\mathbf{x=0,a}} = \mathbf{0}$ e $\left.\frac{\partial \mathbf{h_z}}{\partial \mathbf{y}}\right\|_{\mathbf{y=0,b}} = \mathbf{0}$. **Item b) (0,8 ponto):** Soluções reais no tempo via $\vec{\mathcal{E}}(t) = \mathrm{Re}\{\vec{E}e^{j\omega t}\}$ para TE_{10}: • $\mathcal{E}_\mathbf{y}(\mathbf{x},\mathbf{z},\mathbf{t}) = \mathbf{E_0} \sin\left(\frac{\pi \mathbf{x}}{\mathbf{a}}\right) \cos(\omega \mathbf{t} - \beta \mathbf{z})$ • $\mathcal{H}_\mathbf{x}(\mathbf{x},\mathbf{z},\mathbf{t}) = -\frac{\mathbf{E_0}}{\eta_{\mathbf{TE}}} \sin\left(\frac{\pi \mathbf{x}}{\mathbf{a}}\right) \cos(\omega \mathbf{t} - \beta \mathbf{z})$ • $\mathcal{H}_\mathbf{z}(\mathbf{x},\mathbf{z},\mathbf{t}) = -\frac{\pi \mathbf{E_0}}{\omega \mu_0 \mathbf{a}} \cos\left(\frac{\pi \mathbf{x}}{\mathbf{a}}\right) \sin(\omega \mathbf{t} - \beta \mathbf{z})$ **Item c) (0,8 ponto):** Substituindo os valores do guia WR-75: 1. $f_c = \frac{c}{2a} = \frac{3\times10^8}{2\times0,01905} \approx \mathbf{7,874}$ GHz 2. $\beta = k\sqrt{1-(f_c/f)^2} = \left(\frac{2\pi\cdot12\times10^9}{3\times10^8}\right)\sqrt{1-\left(\frac{7,874}{12}\right)^2} \approx \mathbf{189,75}$ rad/m 3. $\eta_{TE} = \frac{\eta_0}{\sqrt{1-(7,874/12)^2}} \approx \mathbf{500,14\ \Omega}$

**O padrão de resposta deve estar fundamentado nas bibliografias exigidas pelo Edital, para evitar problemas o professor deverá citar o capítulo/página do livro utilizado.*

Pág. 09 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

Membros da Banca:

Nome do Docente	**Função na Banca**	**Lotação / Centro**
Prof. Aleksander S. Paterno	Presidente Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz	Membro Titular	Engenharia Elétrica / CCT
Prof°. Dra. Tamiris G. Bade	Membro Titular	UFSC – Joinville
Prof. Fernando Prioste	Membro Suplente	Engenharia Elétrica / CCT

Assinatura – Presidente da Banca

Assinatura – Membro Titular 1

Assinatura – Membro Titular 2

Assinatura – Membro Suplente

Pág. 10 de 10 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00022884/2026 e o código 9A8N0YA0.

Assinaturas do documento

Código para verificação: **9A8N0YA0**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:

ALEKSANDER SADE PATERNO (CPF: 018.XXX.389-XX) em 22/06/2026 às 18:21:00
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:40:59 e válido até 30/03/2118 - 12:40:59.
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTIwMjJfMDAwMjI4ODRfMjI4ODlfMjAyNl85QThOMFlBMA== ou o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo **UDESC 00022884/2026** e o código **9A8N0YA0** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.