



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

PROPOSTA DE UM SENSOR CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DO GÁS DE FLASH EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

PAPER 47

RESUMO

O gás de flash na linha de líquido é um comportamento inadequado do escoamento bifásico do refrigerante nos ciclos padrão de refrigeração. É caracterizado pelas perturbações nos regimes de escoamentos do refrigerante líquido e tem relação com o arranjo espacial do gás e do líquido que o compõe. Isso ocorre porque as alterações da concentração volumétrica de refrigerante numa dada seção transversal da tubulação podem causar a fração em vazio em uma das fases do refrigerante, promovendo deficiência frigorífica e falhas precoces no sistema. Um sensor capacitivo foi projetado em modelo 3D através do software COMSOL Multiphysics® 4.4, para monitorar o efeito do gás de flash nos pontos onde há escoamentos bifásicos não requeridos. Este modelo foi construído baseado na Análise por Elementos Finitos, que através do procedimento experimental para simulação do modelo permitiu registrar 27 valores preliminares de capacitância, pela diferença de tensão de saída do transdutor (V_o), considerando a relação $Hl/Di = 0,5$. Os resultados indicaram que para a presença do refrigerante R134a, com seu volume distribuído homogeneamente na forma bifásica, em escoamento estratificado ou na forma de bolhas, há uma alteração de cerca de 1,7 pF no sensor, que é mais do que suficiente para identificar a presença do gás de flash no tubo com um projeto adequado de um circuito transdutor.

Palavras-chave: Escoamento Multifásico. Gás de Flash. Refrigeração. Sensor Capacitivo. Elementos Finitos.

ABSTRACT

Flash gas in the liquid line is an inappropriate behavior of the two-phase flow of the refrigerant in standard refrigeration cycles. It is characterized by disturbances in the liquid refrigerant flow regimes and is related to the spatial arrangement of the gas and the liquid in it. This is because changes in the volumetric concentration of refrigerant in a given pipe cross-section can cause the void fraction in one of the refrigerant phases, promoting refrigerant deficiency and early system failures. A capacitive sensor was designed in a 3D model using COMSOL Multiphysics® 4.4 software to monitor the effect of flash gas at points where there are unrequired two-phase flows. This model was built based on Finite Element Analysis, which through the experimental procedure for simulation of the model allowed to record 27 preliminary values of capacitance, by the transducer output voltage difference (V_o), considering the ratio $Hl/Di = 0.5$. The results indicated that for the presence of R134a refrigerant, with its volume homogeneously distributed in two-phase form, in stratified flow or in the form of bubbles, there is a change of about 1.7 pF in the sensor, which is more than enough to identify the presence of the flash gas in the pipe with an adequate design of a transducer circuit.

Keywords: Multiphase Flow. Flash Gas. Cooling. Capacitive Sensor. Finite Elements.

1 INTRODUÇÃO

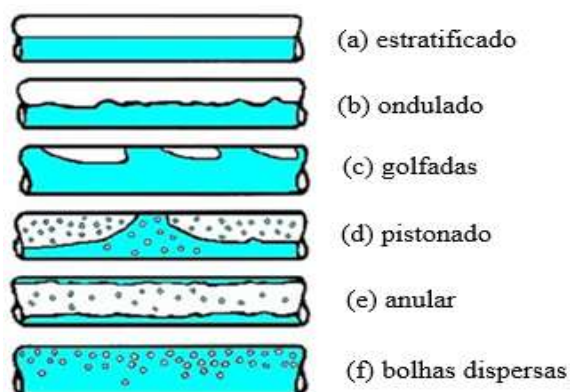
Nos projetos de sistemas de refrigeração, é importante estabelecer relações

apropriadas que promovam o equilíbrio do refrigerante entre as fases de condensação e evaporação durante o escoamento, bem como dos componentes conectados ao sistema por tubulações, para que a capacidade do sistema seja mantida o máximo possível mesmo sob condições de operação distintas (DOSSAT, 1980).

Escoamento bifásico são aqueles que ocorrem na presença de duas fases, as quais escoam simultaneamente. O escoamento bifásico gás-líquido ocorre extensivamente em muitas partes dos sistemas de refrigeração, mais especificamente, nos dispositivos de expansão, nos termos sifões e nos trocadores de calor, como evaporadores e condensadores e ao longo de algumas partes da tubulação (ASHRAE, 2018). Eles são caracterizados pela formação dos chamados regimes ou padrões de escoamentos, os quais tem relação com o arranjo espacial do gás e do líquido que o compõe.

O escoamento gás-líquido horizontal apresentados na Figura 1, é mais complexo do que o vertical em função da assimetria gerada pela gravidade e de seus regimes de escoamento que comumente são identificados por: (a) estratificado, (b) ondulado, (c) golfadas, (d) pistonado e (e) anular conforme.

Figura 1 – Regimes de escoamentos bifásicos em tubos horizontais



Fonte: Darzi (2017).

A fluidodinâmica desses tipos de escoamento é determinada por várias forças concorrentes, tais como: tensão de cisalhamento, capilaridade, gravidade, inércia, etc., onde o movimento contínuo das interfaces introduz um efeito desestabilizador nos escoamentos, causando mudanças de distribuições temporais e espaciais das fases sendo o caso dos sistemas de refrigeração (DARZI, 2017). Tudo isso pode alterar a concentração volumétrica de refrigerante numa dada seção transversal da tubulação e causar o efeito da fração em vazio, que é definida como a razão entre o volume ocupado por uma das fases do refrigerante pela área total do escoamento e tem relação direta com diferentes quantitativos e efeitos associados ao escoamento, como: coeficiente de transferência de calor, queda de pressão nas linhas de transporte e alteração no padrão do escoamento, os quais afetam diretamente os sistemas de refrigeração (GARDENGHI, 2020).

Assim, para os sistemas reais de refrigeração, é importante identificar as fontes de instabilidades e implantar sistemas de controle, evitando, por exemplo, que haja variação indesejada da pressão em determinados pontos, que possam repentinamente desencadear um escoamento inadequado de refrigerante com risco de gerar falhas aos componentes (SCHURT, *et al.*, 2010). Um exemplo é a formação de ondas de vapor saturado chamado gás de *flash* que podem ocorrer na linha de transporte de líquido para o evaporador e causar alimentação inadequada de refrigerante líquido na válvula de expansão termostática, que resulta em oscilações em seu funcionamento e conseqüentemente na redução de eficiência do sistema (THYBO *et al.*, 2010), bem como causar danos na instalação como a geração de pontos de cavitação no interior de válvulas e singularidades, podendo provocar falhas precoces nos componentes mecânicos, inclusive rupturas e posterior vazamentos de refrigerante, incidindo ao risco de acidentes e danos materiais por contaminação e também ao meio ambiente, pois os refrigerantes em sua maioria causam impactos ambientais, sobretudo ao aquecimento global.

A determinação da fração de vazio possui correlações que tem sido amplamente estudada, tanto teoricamente como experimentalmente, durante as últimas décadas, por vários pesquisadores sendo classificadas e apresentadas no quadro 1, em quatro categorias principais: 1. *Slip ratio correlations*, 2. Correlações Ka_H , 3. *Drift flux correlations* e 4. Correlações empíricas gerais. Reis e Cunha (2014) aplicaram uma equação para a redução de dados em seu experimento realizando conversão de valores da relação H_i/D_i em concentração volumétrica de líquido ou do *holdup* de líquido (φ).

Quadro 1 – Correlações para determinação da fração em vazio

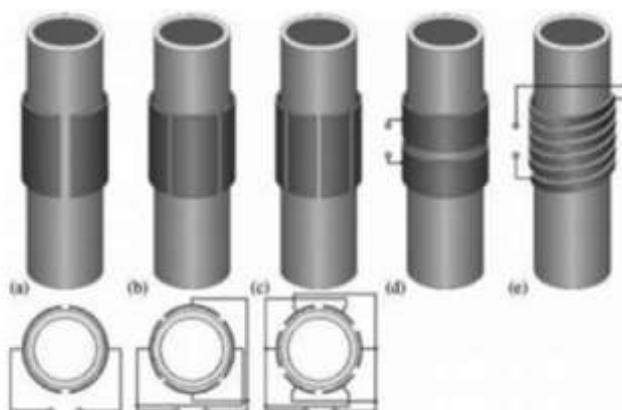
Categoria	Correlações	Referência
<i>Slip ratio correlations</i> (S)	$S = \frac{u_V}{u_L} \quad \alpha = \left[1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right) S \right]^{-1}$	Zivi (1964), Spedding e Chen (1984)
Correlações Ka_H	$\alpha = \left[1 + A \left(\frac{1-x}{x} \right)^p \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^q \left(\frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^r \right]^{-1}$	Bankoff (1960), Høglund (1962)
<i>Drift flux correlations</i> flux	$\alpha = \frac{U_{SG}}{C_0 U_M + U_{GM}} = \frac{x}{\rho_V} \left[C_0 \left(\frac{x}{\rho_V} + \frac{1-x}{\rho_L} \right) + \frac{U_{GM}}{G} \right]^{-1}$	Zuber e Findlay (1965)
Correlações empíricas gerais	$X = \sqrt{\frac{(dP/dz)_l}{(dP/dz)_v}}$	Lockhart e Martinelli, (1949)
Conversão H_i/D_i em (φ)	$\varphi = 1 - \frac{1}{\pi} \left\{ \pi - a \cos \left[1 - 2 \frac{h_L}{D} \right] + \left(1 - 2 \frac{h_L}{D} \right) \sqrt{1 - \left(1 - 2 \frac{h_L}{D} \right)^2} \right\}$	Reis e Cunha (2014)

Fonte: Qian; Hrnjak, (2020).

Vários métodos experimentais já foram propostos para medir a concentração volumétrica ou fração em vazio de escoamento multifásico, as quais podem ser dos tipos intrusivos ou não intrusivos, isto é, podem ou não perturbar o escoamento. Dentre elas, as técnicas não intrusivas são aquelas baseadas nos métodos: óptico, raio-X, raio gama, ultrassom ou métodos baseados em grandezas elétricas como: a resistivo, por impedância, magnético ou capacitivo, onde está última tem apresentado algumas vantagens por ser de baixo custo e robusta, além de que a permissividade dielétrica do gás costuma ser muitas vezes menor do que a do líquido (POWELL, 2008 *apud* REIS; CUNHA, 2014).

Os sensores do tipo capacitivo ou resistivo tem como princípio de funcionamento, a relação entre a impedância elétrica do meio bifásico e a fração de vazios do escoamento, sendo que a impedância elétrica é medida através da aplicação de um campo elétrico a um ou mais pares de eletrodos que formam o sensor (ROCHA; SIMÕES, 2002), sendo que para as medições de regimes de escoamentos líquido-gás em tubulações eles podem ter diferentes geometrias como: (a) duas placas côncavas, (b) quatro placas côncavas, (c), seis placas côncavas, (d) duplo anel e dupla hélice ou helicoidal (e) (QIAN; HRNJAK, 2018) e conforme apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Geometria de eletrodos capacitivos



Fonte: Jaworek e Krupa (2010) *apud* Qian e Hrnjak (2018).

Para este experimento, o sensor capacitivo será composto por um conjunto de eletrodos não intrusivos do tipo duplo anel, protegidos por uma blindagem eletromagnética que envolve toda a seção de sensoriamento. Um dos destaques é que esse sensor será montado na superfície externa de um trecho de um tubo de borracha não condutor de eletricidade de 8 mm de diâmetro interno e 4 mm de espessura de parede, a qual já é aplicada tradicionalmente em sistemas de refrigeração conforme norma SAE J2064. Esses valores, tiveram como referência, os dados de projeto e funcionamento de um sistema real de refrigeração de uma bancada de estudos de falhas e componentes. O estudo foi realizado por meio de simulações baseadas na Análise pelo Método

Elementos Finitos (AEF) utilizando o software COMSOL Multiphysics 4.4®. Estabelecidos os requisitos do projeto, uma estratégia paramétrica foi adotada e determinados os valores mais adequados de cada parâmetro do projeto do sensor.

Assim, através deste paper, nós providenciamos informações sobre os resultados preliminares de um sensor capacitivo duplo anel para detecção de gás de *flash* que atuará, o mais próximo possível da válvula de expansão termostática, monitorando a concentração volumétrica de gás na massa do refrigerante R134a líquido em escoamento.

2 CONJUNTO DE SENSORIAMENTO

Composto por dois eletrodos capacitivos do tipo duplo anel sobre um tubo de borracha homologado para sistemas de refrigeração e uma blindagem eletromagnética desenvolvida conforme as características construtivas do sensor, modelagem aplicada e suas respectivas codificações para permitir a simulação visando os resultados esperados.

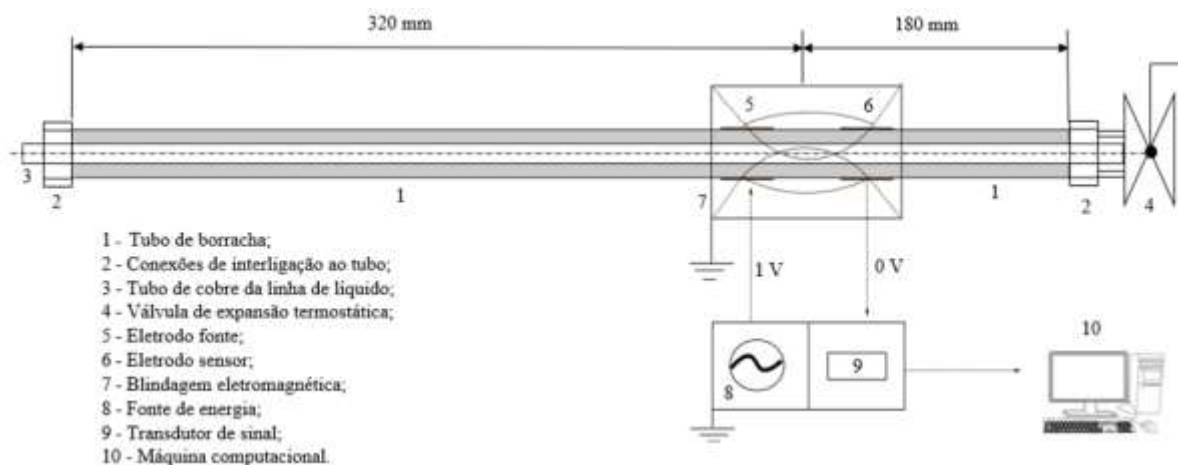
2.1 Características construtivas

O tubo de borracha possui diâmetro interno $\cong 8$ mm, espessura de parede $\cong 4$ mm e comprimento de 500 mm, sendo que deste total, 40.d $\cong 320$ mm a montante até o centro entre os sensores para que haja alguma possibilidade estabilização do regime de escoamento e 180 mm será jusante após o centro entre os sensores até a entrada da válvula de expansão termostática.

O modelo do conjunto de sensoriamento representado na Figura 3, possui um tubo de borracha (1), está conectado pelas extremidades por conexões de interligação (2), ao trecho de tubo de cobre da linha de líquido (3) e a entrada da válvula de expansão termostática (4). O modelo se baseará em detectar alterações da concentração volumétrica de líquido ou de vapor em escoamento estratificado no interior da tubulação no trecho de sensoriamento. Para isso e como já dito, será desenvolvido dois eletrodos metálicos do tipo anél com espessura de 0,06 mm, sendo o eletrodo fonte (5) que recebe o sinal de excitação de (1V) e o eletrodo sensor (6) que possui (0 V), sendo a distribuição do campo elétrico que determina a capacitância e que evidentemente depende da permissividade elétrica efetiva do refrigerante, do ar ao redor e do tubo de borracha na região de sensoriamento.

A blindagem eletromagnética (7) que envolve toda a seção de sensoriamento é formada por uma chapa metálica de espessura de 0,5 mm e atua como uma gaiola de *Faraday*, cuja função é evitar o espalhamento do campo elétrico gerado e limitar os efeitos de interferências eletromagnéticas externas, distribuindo o campo elétrico gerado pela fonte de energia (8) ao redor dos eletrodos por conta da diferença de potencial elétrico. Os devidos valores das medições serão recebidos por um transdutor de sinal (9) que enviará os mesmos para uma máquina computacional (10) para tratamento de dados.

Figura 3 – Esquema de funcionamento do sensor proposto



Fonte: O autor (2022).

A capacitância formada nas regiões entre os eletrodos e a interface e entre o refrigerante e a parede interna do tubo poderá ocorrer em ambos os lados devido ao material dielétrico, podendo também ser formada entre a superfície externa dos eletrodos até a blindagem eletromagnética e dependendo da análise pode ocorrer nos limites do domínio matemático V_0 .

Como a capacitância ocorre entre a interface tubo-fluido do lado de um eletrodo até o lado do outro eletrodo, espera-se medir, a concentração volumétrica de uma das fases do refrigerante R134a escoando em regime estratificado de forma que a variação da resposta da sonda ocorrerá devido ao fato da condutância elétrica alterar o potencial elétrico na região entre os eletrodos, recebida por um transdutor de capacitância que para uma aplicação prática converterá o valor da capacitância em um sinal de tensão elétrica proporcional.

2.2 Modelagem visando o projeto do sensor

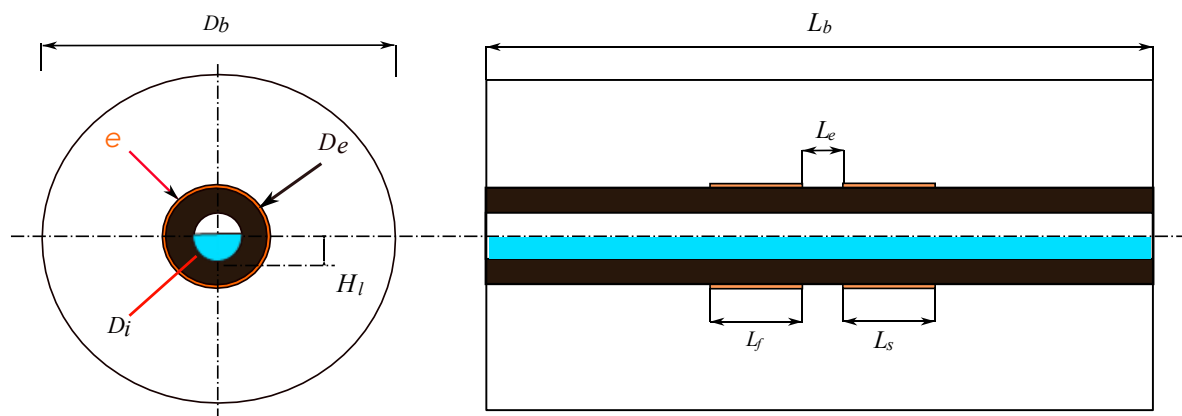
A modelagem do conjunto de sensoriamento foi elaborada pelo sistema de codificação das partes a serem montadas, ou seja, da blindagem eletromagnética, dos eletrodos do tipo anel, do tubo de borracha e de seu domínio externo que aplicados ao modelo matemático do software, possibilitou a construção e união das partes, a partir da atribuição dos valores das características construtivas e de projeto divididos em parâmetros fixos e variáveis.

2.3 Codificação do conjunto de sensoriamento

O corte da seção lateral e transversal da Figura 4 apresenta as abreviações para codificação do diâmetro externo da blindagem D_b , da espessura dos eletrodos anéis E_a , do diâmetro interno dos anéis D_a , do diâmetro externo do tubo de borracha D_e , do diâmetro interno do tubo D_i , bem como da altura do

refrigerante líquido H_l . Já o corte da seção lateral, destaca o comprimento total da blindagem L_t , o comprimento dos eletrodos fonte L_f e sensor L_s e o comprimento do espaçamento entre eles L_e .

Figura 4 – Modelo físico da seção de sensoriamento



Fonte: O autor (2022).

Os parâmetros fixos das cotas apresentadas na Tabela 1, foram determinadas a partir de especificações técnicas de fabricação do tubo de borracha e para evitar uma possível alteração no padrão de escoamento do refrigerante, provocado pela conexão de junção entre o tubo de borracha e o tubo metálico de condução do fluido, tanto na entrada da área de sensoriamento como na saída do trecho de medição, sendo assumido um diâmetro em maior na escala de medida disponível pelo fabricante, formando uma condição de referência para análise do desempenho do sensor.

Tabela 1 – Parâmetros especificados de projeto (fixos)

Item	Designação	Símbolo	Valores	Unidade
1	Diâmetro interno do tubo	D_i	8,0	mm
2	Diâmetro externo do tubo	D_e	16,0	mm
3	Diâmetro do domínio externo	D_d	100	mm
4	Comprimento total do tubo de borracha	L_t	500	mm
5	Comprimento do tubo a montante da seção de sensoriamento	L_m	$40 D_i$ ou 320	mm
6	Espessura da chapa dos eletrodos	e	0,06	mm
7	Espessura da chapa da blindagem	e_b	0,5	mm

Fonte: Autor (2022).

Os parâmetros variáveis da seção transversal e lateral são apresentados na Tabela 2, onde as cotas testadas durante as simulações correspondem aos valores em mm da blindagem metálica (diâmetro D_b e comprimento L_b), do comprimento dos eletrodos fonte L_f e sensor L_s e a distância entre eles L_e .

Tabela 2 – Parâmetros variáveis de projetos

Item	Designação	Símbolo	Valores	Unidade
1	Comprimento do eletrodo fonte	L_f	10, 20 e 30	mm
2	Comprimento do eletrodo sensor	L_s	10, 20 e 30	mm
3	Espaçamento entre os eletrodos	L_e	1, 5 e 10	mm
4	Diâmetro interno da blindagem	D_b	20, 40 e 60	mm
5	Comprimento interno da blindagem	L_b	80, 100 e 120	mm

Fonte: Autor (2022).

A altura do líquido H_l , também é um elemento varável, entretanto para este artigo foi simulado somente uma condição da fração em vazio, ou seja $(\varphi) = 0,50$.

3 PROCECIMENTO E MÉTODOS DE SIMULAÇÃO DO MODELO

O sensor capacitivo proposto foi projetado a partir de um modelo 3D desenvolvido no software COMSOL Multiphysics® 4.4, baseado na Análise por Elementos Finitos (AEF). A modeagem para simulação foi desenvolvida especificamente pela física AC/DC, num tipo de formulação para estudo da interface eletrostática cuja formulação é chamada stationary, e permitiu o desenvolvimento do modelo pelas seguintes abas: parâmetros, geometria, materiais, condições de contornos, formação de malhas, estudo do modelo e resultados da evolução global em pico Faraday (pF).

A licença do software foi adquirida por meio do Auxílio à Pesquisa Regular Proc. FAPESP nº 2012/50.297-7. Foi utilizado computador com Windows 10, sistema operacional de 64 bits, 8 GB de memória RAM, núcleos de processamento Intel Core i3-8130U 8ª geração com 2.21 GHz.

3.1 Procedimento experimental

O procedimento experimental para simulação do modelo permitiu registrar 27 valores preliminares de capacitância pela diferença de tensão de saída do

transdutor V_0 , considerando a relação $H_i/D_i = 0,5$ que convertidos em concentração volumétrica de líquido (holdup), $(\varphi) = 0,50$.

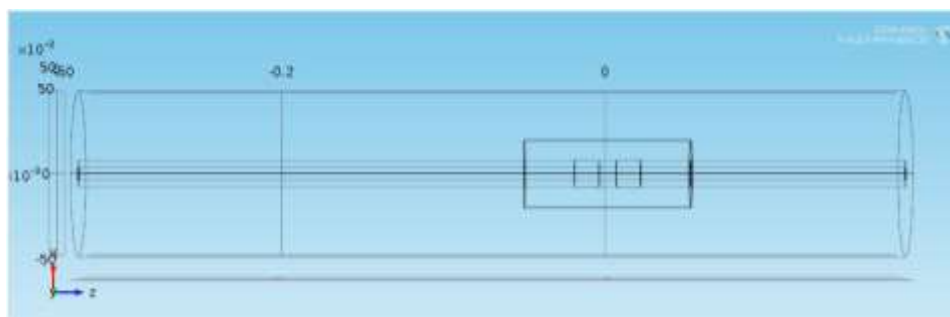
O modelo de sensor da Figura 4, permitiu gerar um arranjo espacial semelhante ao regime de escoamento bifásico estratificado liso do refrigerante R134a na linha de líquido, que é considerado o regime mais adequado para avaliar o efeito da distribuição espacial das fases na resposta dos sensores, considerando essa situação como análoga a ocorrência do gás de flash.

As simulações foram parametrizadas através dos parâmetros físicos de projeto conforme Tabela 3 e dos parâmetros variáveis (L_f , L_s , L_e e D_b) da Tabela 4. Nesta simulação não foi utilizada a variável (L_b), mantendo-se o comprimento da blindagem fixo em 100 mm. Também não houve alternâncias entre os comprimentos dos eletrodos (L_f , L_s) por simulação.

3.2 Método de simulação do modelo

Através da aplicação da modelagem matemática do software, foi criada a geometria do modelo por meio de cilindros, representados na Figura 5, contendo: 1 tubo de borracha, 2 eletrodos do tipo anéis, 1 blindagem eletromagnética e 1 cilindro que representa o domínio do ambiente externo, o qual deve ser previsto durante a simulação.

Figura 5 – Geometria do modelo matemático



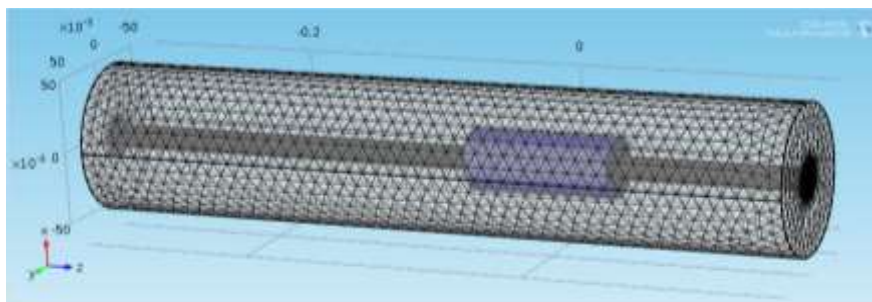
Fonte: Autor (2023).

O modelo matemático é formado pela união de domínios de 5 objetos (tubo de borracha, R134a Líquido, R134a gás, e ar sendo este último representado por 2 domínios, ou seja, o volume interno de ar na blindagem e o volume interno de ar do ambiente externo). Os eletrodos do tipo anéis foram desconsiderados por serem os elementos geradores e receptores do diferencial de potencial elétrico do modelo. Assim, as condições de contorno do modelo previu a especificação do potencial elétrico nos limites de cada domínio, tendo o eletrodo fonte a especificação de V_1 em seu contorno e os demais domínios com condições de contorno para a tensão de V_0 .

A geometria finalizada com 5 domínios, gerou as condições de contorno de 77 limites, 150 arestas e 88 vértices, que formou a malha dos elementos finitos,

conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 – Malha dos elementos finitos

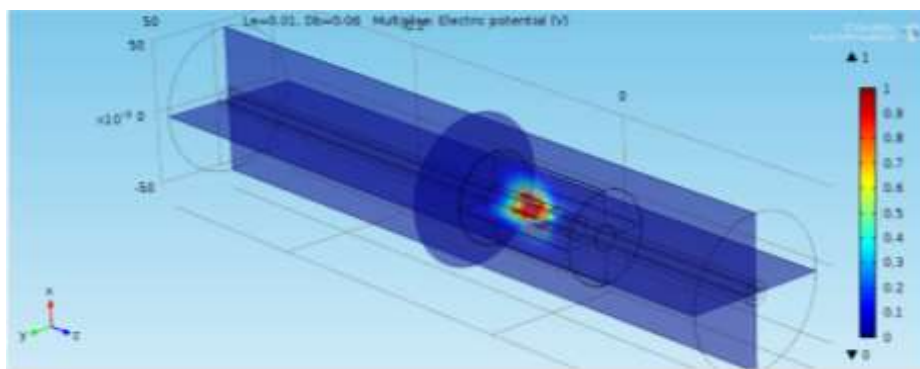


Fonte: Autor (2023).

Destaca-se que para cada simulação os nós resultantes geram valores equivalentes aos parâmetros fixos e variáveis e seu respectivo refinamento.

O modelo gerado pela aba de estudos apresenta o efeito do comportamento do campo eletromagnético aplicado pelo diferencial de tensão entre os eletrodos fonte e sensor. Na Figura 7, é possível visualizar as linhas dos campos eletromagnéticos concentrados no eletrodo fonte em vermelho, até os pontos nulos em azul.

Figura 7 – linhas dos campos eletromagnéticos



Fonte: Autor (2023).

Nesta tela gráfica, foram gerados 5.949.302 graus de liberdade gerados para a solução do modelo que informa o valor da tensão de acordo com a coloração dos pontos analisados, variando de $V_1 = 1 \text{ V}$ e $V_0 = 0 \text{ V}$.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 3, apresenta os valores preliminares de capacitância do modelo, obtidos durante a simulação e suas respectivas diferenças, quando comparados com os respectivos diâmetros da blindagem (D_b), indicando que

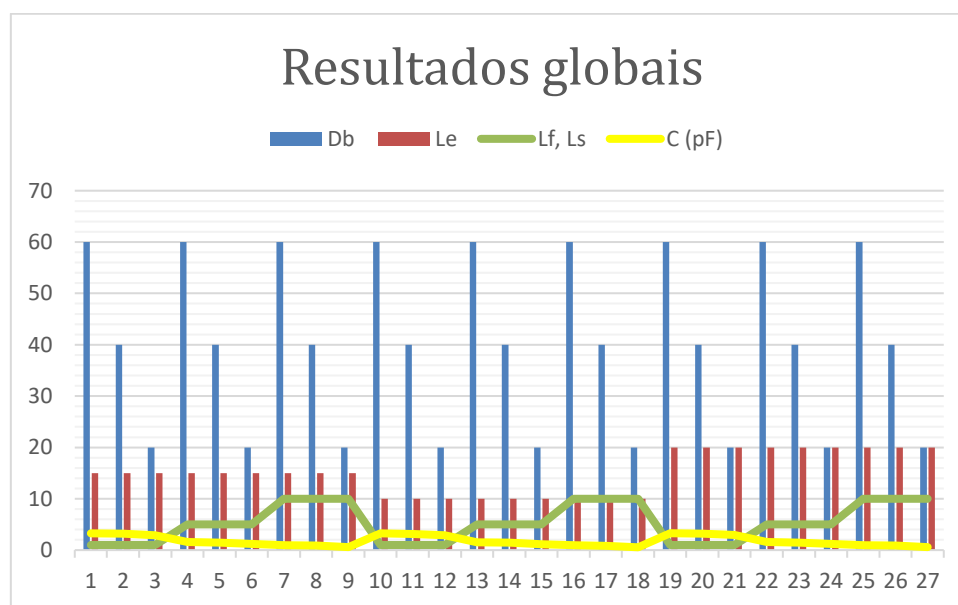
o diâmetro da blindagem pode alterar os resultados de capacitância no sensor. A capacitância média obtida $C_{média} = 1,772$ pF, entretanto nas simulações com $(D_b) = 20$ mm e distância entre eletrodos $(L_e) = 10$ mm apresentam valores muito baixos que poderão prejudicar a calibração do sensor. O Gráfico 1 apresenta os resultados globais das 27 simulações envolvidas pelos parâmetros variáveis e parâmetros fixos.

Tabela 3 – Valores preliminares da capacitância do modelo

ΔD_b	$(L_e, L_s) = 15$ mm			$(L_e, L_s) = 10$ mm			$(L_e, L_s) = 20$ mm		
	C_{max} (pF)	C_{min} (pF)	Diferença	C_{max} (pF)	C_{min} (pF)	Diferença	C_{max} (pF)	C_{min} (pF)	Diferença
$L_e = 1$ mm									
60 e 40	3,27576	3,19004	0,08572	3,24402	3,16636	0,07766	3,28602	3,19526	0,09076
40 e 20	3,19004	2,92111	0,26893	3,16636	2,8892	0,27716	3,19526	2,92791	0,26735
60 e 20	3,27576	2,92111	0,35465	3,24402	2,8892	0,35482	3,28602	2,92791	0,35811
$L_e = 5$ mm									
60 e 40	1,56509	1,47699	0,0881	1,544	1,46278	0,08122	1,57237	1,48015	0,09222
40 e 20	1,47699	1,18448	0,29251	1,46278	1,16672	0,29606	1,48015	1,18832	0,29183
60 e 20	1,56509	1,18448	0,38061	1,544	1,16672	0,37728	1,57237	1,18832	0,38405
$L_e = 10$ mm									
60 e 40	0,95792	0,86794	0,08998	0,94366	0,8593	0,08436	0,96308	0,86992	0,09316
40 e 20	0,86794	0,55762	0,31032	0,8593	0,54875	0,31055	0,86992	0,55955	0,31037
60 e 20	0,95792	0,55762	0,4003	0,94366	0,54875	0,39491	0,96308	0,55955	0,40353

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 1 – Resultados globais



Fonte: Autor (2023).

5 Conclusão

Os resultados indicaram que, para a presença do refrigerante R134a com seu volume distribuído homogeneamente na forma bifásica, há alterações de

cerca de 1,7 pF na resposta do sensor, o que é mais do que suficiente para identificar a presença do gás de *flash* com um projeto adequado de um circuito transdutor. Em relação a configuração geométrica do sensor, a área e comprimento são parâmetros-chave para avaliar a influência das perturbações do fluxo de gás-líquido. Os resultados apresentados neste artigo, são preliminares e mostrou que cada configuração do sensor tem sua própria resposta a diferentes perturbações do fluxo. Este estudo será deixado para um trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Guide for sustainable refrigerated facilities and refrigeration systems**, Atlanta, 2018.

DARZI, M.; PARK, C. Experimental Visualization and Numerical Simulation of Liquid-Gas Two-Phase Flows in a Horizontal Pipe. **Volume 7: Fluids Engineering**, 2017.

DOSSAT, R. J. **Princípios de refrigeração**. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1980.

GARDENGHI, Á. R. et al. Overview of Void Fraction Measurement Techniques, Databases and Correlations for Two-Phase Flow in Small Diameter Channels. **Fluids**, v. 5, n. 4, 2020, p. 216.

JAWOREK, A.; KRUPA, A. Phase-shift detection for capacitance sensor measuring void fraction in two-phase flow. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 160, n. 1-2, 2010, p. 78–86.

QIAN, H.; HRNJAK, P. Void Fraction and Flow Regimes Determined By Visualization, Mass Measurement and New Capacitance Sensor. **17th International Refrigeration and Air Conditioning Conference**. Purdue, 2018.

QIAN, H.; HRNJAK, P. Mass measurement based calibration of a capacitive sensor to measure void fraction for R134a in smooth tubes. **International Journal of Refrigeration**, v. 110.p. 168-177, 2020.

REIS, E. D.; CUNHA, D. D. S. Experimental study on different configurations of capacitive sensors for measuring the volumetric concentration in two-phase flows. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 37, 2014, p. 127–134.

ROCHA, M. S; SIMÕES, M. J. R. Electronic circuit for multiple electrodes impedance sensor for void fraction measurements. **II National Congress off Mechanical Engineering**. João Pessoa: CONEM, 2002.

SCHURT, L. C.; HERMES, C. J.; NETO, A. T. Assessment of the controlling envelope of a model-based multivariable controller for vapor compression refrigeration systems. **Applied Thermal Engineering**, v. 30, n. 13, 2010, p. 1538–1546.

THYBO, C; RASMUSSEM, B. D; LAURIDSEN, S; HELBERG, V. **Method and a device for detecting flash gas**. Cessionária: Danfoss A/S, Nordborg (DK). n.US 7,681,407 B2, 2010.