

Estudo da polarização de um material ferroelétrico em função da temperatura

Hugo Veloso¹

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Novembro 2017

Para esta atividade, com o intuito de avaliar a relação entre a polarização espontânea de acordo com a temperatura, aplicada numa amostra de Sulfato de Triglicerina, um campo elétrico foi aplicado à amostra enquanto esta está a uma certa temperatura (controlada por um termopar) e registou-se a tensão resultante para essa mesma temperatura. Fazendo isto para a gama de temperatura entre 20 e 50 graus Celsius, observou-se a variação da fase de polarização do material, de modo a identificar a temperatura em que este passa de estado ferroelétrico para paraelétrico (Temperatura de Curie).

1 Introdução

1.1 Objetivo

Este trabalho é acompanhado de dois objetivos principais:

1. Observação da histerese característica da polarização do Sulfato de Triglicerina, TGS, à temperatura ambiente;
2. Determinação da temperatura a que a amostra transita de fase ferroelétrica para paraelétrica.

1.2 Teórica

Dentro das diferentes fases de polarização que um material pode apresentar, veremos mais detalhadamente a fase ferroelétrica e a fase paraelétrica, sendo estas

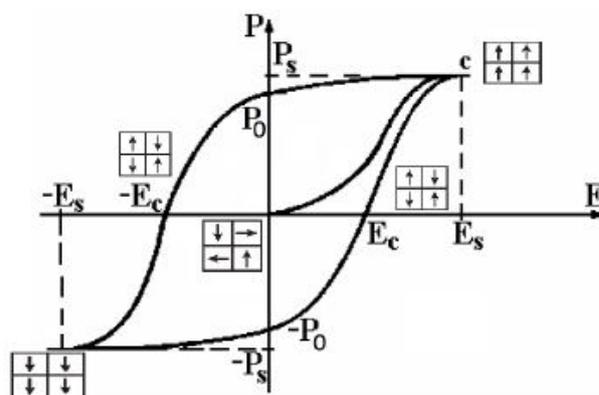


Figure 1: Representação do ciclo histerético característico da fase ferroelétrica

as que entrarão em ação nesta atividade. A **fase ferroelétrica** de um material é caracterizada pela existência de uma polarização elétrica espontânea[1] quando não existe campo elétrico a atuar nesse material. Isto deve-se à existência de um momento dipolar na estrutura cristalina do material, onde o centro da carga positiva do cristal não coincide com o centro da carga negativa[2]. Esta fase é facilmente identificada através da observação do gráfico que relaciona a polarização de um material em função do campo elétrico que lhe é aplicado, uma vez que mostra um ciclo histerético (Figura 1).

A histerese característica da fase ferroelétrica apresenta alguns pontos necessários para contexto:

1. P_0 corresponde à polarização espontânea, polar-

ização remanescente quando o campo elétrico aplicado é nulo. Esta pode tomar valores positivos ou negativos dependendo da orientação dos dipolos do TGS e da evolução do campo elétrico aplicado;

2. P_S é a polarização de saturação, onde todos os dipolos estão alinhados entre si, não havendo alteração do valor de polarização quando aplicado uma maior intensidade so campo. A esta polarização de saturação está associado um campo elétrico de polarização, E_S , valor da intensidade do campo em que ocorre a saturação;
3. E_C é o campo coersivo, ou seja, é o campo necessário para que se consiga fazer com que metade dos dipolos do material alterem a sua direção de modo a ficarem antiparalelas com a outra metade, resultando assim numa polarização nula para esse valor de campo.

Quando o material atinge uma certa temperatura, a chamada temperatura de Curie, o material sofre uma mudança de fase de polarização. Neste caso, atingindo esta temperatura, o TGS passa de fase ferroelétrica para fase paraelétrica.

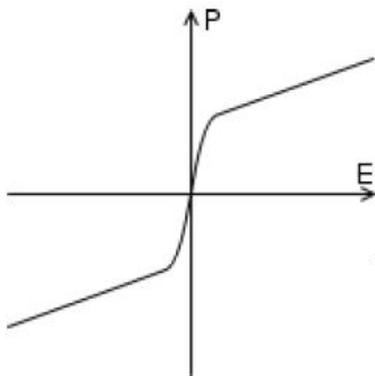


Figure 2: Representação da polarização característica da fase paraelétrica

A fase paraelétrica é caracterizada por ter uma polarização espontânea nula. A existência do comportamento não linear induz uma permitividade elétrica dependente do campo aplicado.

1.3 Método Experimental

Os valores experimentais de maior importância para análise são os valores de tensão do gerador de sinais e de tensão detetados na amostra de TGS. Utilizando estes dois parâmetros pretende-se então fazer o gráfico da relação entre o campo elétrico na amostra e o vetor deslocamento resultante. Para determinar o valor de campo elétrico correspondente aproxima-se isto a um caso ideal,

$$E = V/e$$

sendo que V trata-se da tensão aplicada no TGS e e a espessura da amostra. Para a polarização tem que se ter em consideração o condensador utilizado para

compensar a fase entre os sinais medidos[3]. Usando a expressão do vetor deslocamento

$$D = P + \epsilon E$$

Para o caso da amostra, com capacidade C_a , se comportar como um condensador ideal, onde $V_a = Q_a/C_a$ é a tensão nos terminais da amostra, o módulo do deslocamento elétrico é dado pela expressão[3]

$$D = \frac{Q_a}{S} = \frac{V_a C_a}{S}$$

Contudo, seria necessário saber o valor de C_a e de V_a em cada instante. Sendo a impedância do circuito compensador igual a $Z_{eq} = \frac{R - j\omega C R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$, se $R \gg \frac{1}{\omega C}$, então praticamente toda a corrente que passa na amostra passa também no condensador C . Nestas condições $C_a V_a \approx C V_y$ e o vetor deslocamento elétrico assume a forma

$$D = \frac{C V_y}{S}$$

Usando a expressão de D em função de V_y e de E em função de V_x representa-se o gráfico $D \times E$.

Como nesta atividade pretende-se observar a variação da polarização em relação à temperatura da amostra, o TGS é colocado em cima do lado quente de um termopar com sensibilidade de $41mV/^\circ C$ (necessário fornecer 41 mV ao termopar para o lado quente aumentar a temperatura por um grau). Este termopar tem como referência um recipiente com uma mistura de água e gelo a zero graus Celsius.

2 Procedimento Experimental

De modo a realizar esta atividade foi utilizada a montagem experimental representada abaixo. a amostra apresenta espessura $e = 0,97 \pm 0,01mm$ e área $S = 43,7 \pm 0,01mm^2$

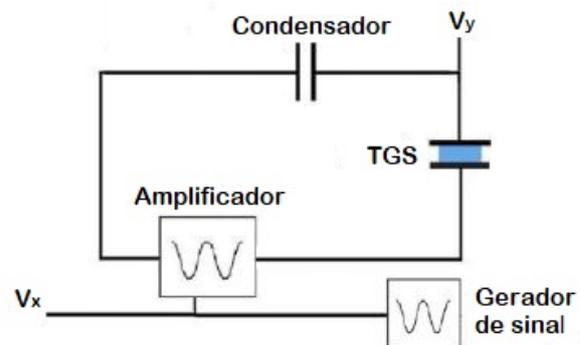


Figure 3: Esquema de montagem do circuito utilizado

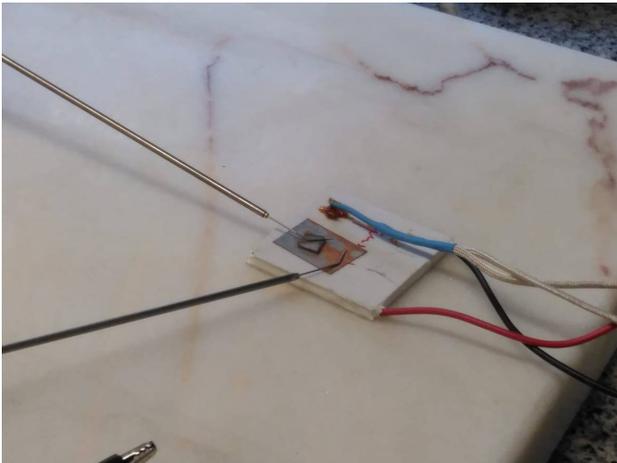


Figure 4: Amostra de TGS, no contexto da atividade

Utilizou-se um gerador de sinais de tensão configurado para um sinal sinusoidal com valor de $V_{pp} = 2,9V$ (valores de tensão baixos não são suficiente para que ocorra saturação) e frequência $f = 10,3Hz$. Esta tensão servirá como a entrada X para observar o ciclo histerético. Anteriormente a ser aplicado na amostra, a tensão fornecida V_x sofre uma amplificação, de forma a que o campo elétrico na amostra seja superior ao campo coercivo do material para que se obtenha variação da polarização. A diferença de tensão entre as extremidades opostas do TGS serão o sinal Y.

3 Análise dos Dados

Com os dados de V_x e V_y obtidos experimentalmente, pretende-se fazer os gráficos de deslocamento elétrico em relação ao campo elétrico aplicado, usando as expressões de D e de E explícitas na subsecção 1.3. As figuras 5, 6 e 7 representam as relações entre o deslocamento elétrico e o campo elétrico aplicado para três temperaturas diferentes: a ambiente, uma próxima à temperatura de Curie e a aparente temperatura de Curie, respetivamente.

Através das figuras 5 e 6, consegue-se observar que, à medida que a temperatura do TGS aumenta, tanto o valor da área da histerese como a da polarização espontânea diminuem. Ao atingir a temperatura de Curie, neste caso $T \approx 47,68^\circ C$, deixa de se tratar de uma histerese (Figura 7). É neste ponto que o TGS abandona a fase ferroelétrica e adquire a fase paraelétrica.

Para comprovar que a amostra de TGS transita de fase para $T = 47,68^\circ C$, recorre-se à polarização espontânea para cada valor de temperatura. Com base no que se observou até agora, a polarização espontânea diminui com o aumento de temperatura até que seja nulo na transição de fase. É então esperado que, fazendo o gráfico $P_0 \times T$, a polarização espontânea diminua com o aumento da temperatura até atingir a temperatura de Curie, onde P_0 será aproximadamente nulo a partir dessa temperatura.

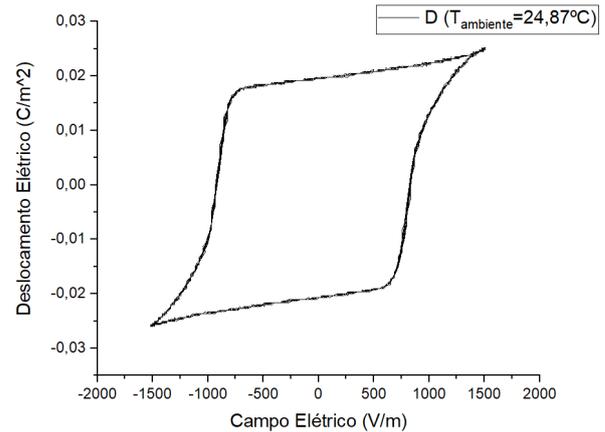


Figure 5: Relação entre o vetor deslocamento elétrico e o campo elétrico aplicado, para a temperatura $T = 24,87^\circ C$ (Temperatura Ambiente)

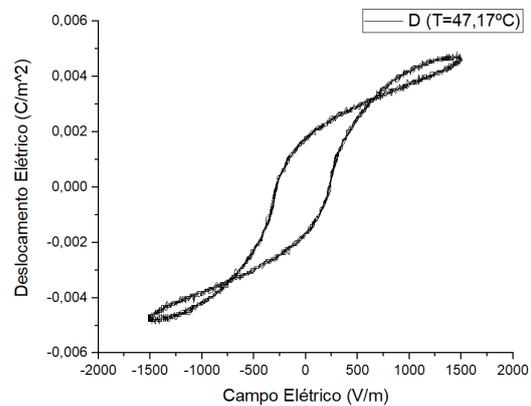


Figure 6: Relação entre o vetor deslocamento elétrico e o campo elétrico aplicado, para temperatura próxima à da transição de fase.

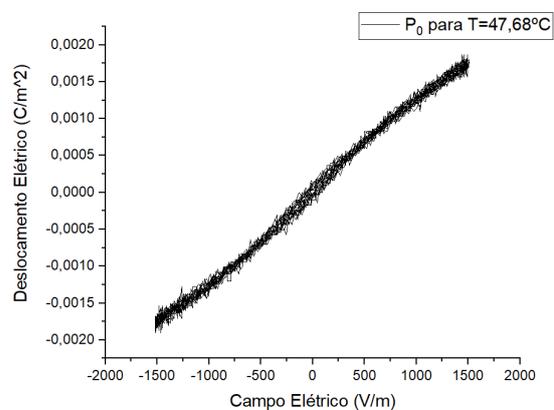


Figure 8: Relação entre o vetor deslocamento elétrico e o campo elétrico aplicado, para a temperatura $T = 47,68^\circ C$. Foi a esta temperatura que se deixou de observar a histerese característica dos ferroelétricos, passando assim a se tratar de um material paraelétrico

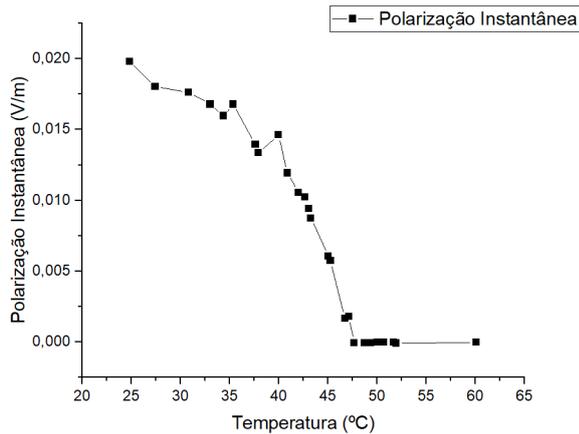


Figure 7: Relação entre a polarização instantânea do TGS e a sua temperatura. A partir da temperatura de Curie, a polarização instantânea é praticamente nula, sendo apenas detetado ruído. Com estes dados a temperatura de transição aparenta ser $T = 47,68^{\circ}C$

Tal como antecipado, consegue-se observar que, a partir de $T = 47,68^{\circ}C$ a polarização espontânea é praticamente nula. Para confirmar este valor, usou-se a relação entre a o quadrado dessa polarização e a temperatura da amostra, de modo a ser possível fazer um *linear fit* aos valores experimentais anteriores a $T = 47,68^{\circ}C$ e determinar qual a temperatura onde P_0 é nulo para este fit (Figura 9).

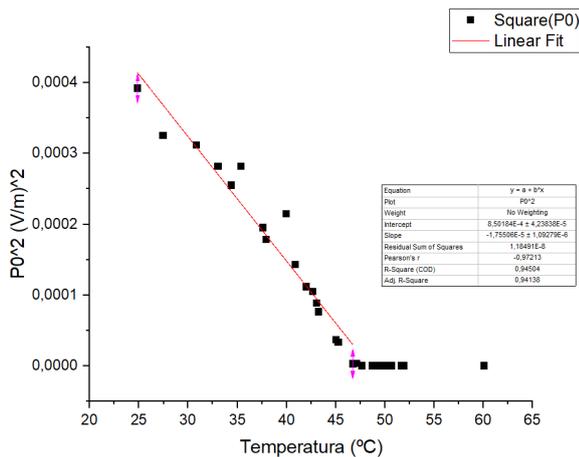


Figure 9: Relação entre o quadrado da polarização instantânea do TGS e a temperatura a que este está. Uma relação linear é observada inicialmente, sendo que deixa de o ser para valores de temperatura superiores à temperatura de mudança de fase. Através de uma regressão linear aos pontos amostrais iniciais, verificou-se que a temperatura de transição sugerida é de aproximadamente $T = 48,44^{\circ}C$

4 Conclusão

A temperatura de Curie do TGS determinada a partir dos gráficos de deslocamento elétrico obtidos apresenta valor $T_{C_{graf}} = 47,68^{\circ}C$. Por linear fit essa temperatura foi determinada como tendo valor $T_{C_{lin}} = 48,44^{\circ}C$. A média entre estes dois é de $T_{obtida_{media}} = 48,06^{\circ}C$ Sendo que a temperatura de Curie do TGS tabelada é de valor $T_C = 49^{\circ}C$, o erro dos resultado obtidos é expresso por $\frac{|T_C - T_{C_{obtido}}}{T_C}$. Tem-se então que o erro dos valores obtidos é de **2.69%** para $T_{C_{graf}}$, **1.14%** para $T_{C_{lin}}$ e de **1.91%** para $T_{obtida_{media}}$. Todos estes estão dentro da percentagem de erro aceitável.

5 Bibliografia

- [1] - <https://www.britannica.com/science/ferroelectricity>;
- [2] - "Introduction of Solid State Physics", Kittel;
- [3] - "Polarização" (Apontamentos da Cadeira de Técnicas Laboratoriais Avançadas.)