

Guia de Utilização da Interface Gráfica para Aquisição de Dados em Sensores GFET

Diogo Gomes
Universidade de Aveiro
Departamento de Física

6 de junho de 2025

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Visão Geral da Interface	3
3	Descrição das Funcionalidades	4
3.1	Secção A	4
3.1.1	Conexão aos Periféricos	4
3.1.2	Importação de Mapas de Medição	5
3.1.3	Importação de tabelas de aquisição	5
3.1.4	Interrupção da Aquisição	6
3.2	Secção B	6
3.2.1	Parâmetros de Medição	6
3.3	Secção C	7
3.3.1	Visualização dos Dados	7
3.3.2	Escolha dos Eixos	7
3.3.3	Aquisição de uma Única Curva	7
3.3.4	Gestão de curvas	7
3.3.5	Gestão de Dados	8
4	Estrutura de Ficheiros	8
4.1	Ficheiros importados	8
4.1.1	Tabela de aquisição	8
4.1.2	Mapa	8
4.2	Ficheiro Gerados pela aplicação	9
5	Requisitos	9

1 Introdução

A caracterização elétrica de dispositivos baseados em transístores de efeito de campo com canal de grafeno (*GFETs*) é uma etapa fundamental no desenvolvimento de sensores eletrónicos de elevada sensibilidade e seletividade. Este processo envolve a medição sistemática das curvas característica do dispositivo – I_{DS} vs V_{GS} – e curvas $V_I - I_{DS}$ vs V_{GS} – com o objetivo de monitorizar alterações no comportamento do dispositivo em resposta à presença de analitos específicos, como, por exemplo, compostos orgânicos libertados por cortiça em meio aquoso.

Num contexto laboratorial, estas medições exigem não apenas precisão e reprodutibilidade, mas também automação, de forma a viabilizar a aquisição de grandes quantidades de dados em conjuntos de sensores com múltiplos canais. Tradicionalmente, este tipo de caracterização requer a integração entre uma unidade de medição de precisão, comutadores e alguma forma de controlo. No entanto, a coordenação eficiente entre estes diferentes elementos, bem como a apresentação clara e organizada dos dados adquiridos, requerem uma interface gráfica intuitiva e tecnicamente robusta.

Com este objetivo, foi desenvolvida uma aplicação gráfica em MATLAB que permite controlar, de forma centralizada e automatizada, todo o processo de aquisição de curvas descritas anteriormente nos dispositivos *GFETs*. A interface comunica diretamente com um par de Arduinos nano e com o *Source Measure Unit keysight (SMU) B2902a*, que aplica os sinais elétricos e mede as respetivas correntes.

A aplicação permite a medição direta através do *SMU*, mas também permite a adição de uma caixa comutadora que permite a medição de vários canais de forma consecutiva.

A interface apresenta ainda funcionalidades adicionais de visualização gráfica, gestão de curvas e exportação de dados. Estas capacidades tornam a ferramenta particularmente útil para longas e monótonas recolhas de dados.

Este guia tem como objetivo apresentar, de forma detalhada e acessível, todas as funcionalidades da interface desenvolvida, incluindo instruções de utilização, explicações sobre os parâmetros disponíveis, e recomendações para uma operação eficaz. O documento está organizado de forma modular, com secções dedicadas à descrição da interface, estrutura dos ficheiros envolvidos e algumas limitações atuais.

2 Visão Geral da Interface

A interface desenvolvida em MATLAB encontra-se organizada em três componentes principais, conforme ilustrado na figura Fig 1:

- Componente A: Esta secção permite importar ficheiros auxiliares à aquisição de dados, bem como estabelecer ligações elétricas com os dispositivos periféricos (por exemplo, a unidade de medição ou os microcontroladores). Adicionalmente, é possível interromper o processo de aquisição e visualizar uma janela de estado com informação em tempo real sobre o funcionamento do sistema.
- Componente B: De configuração simples, esta área permite definir os parâmetros da curva a adquirir, incluindo limites de tensão, número de pontos e tipo de curva a adquirir.
- Componente C: Responsável pela aquisição, visualização e gestão dos dados. Nesta secção, o utilizador pode selecionar o sensor a medir, visualizar as curvas adquiridas em tempo real e guardar os dados para posterior análise.

Uma descrição mais detalhada da aplicação, incluindo a lógica interna de funcionamento e fluxogramas de controlo, pode ser consultada na secção 3.

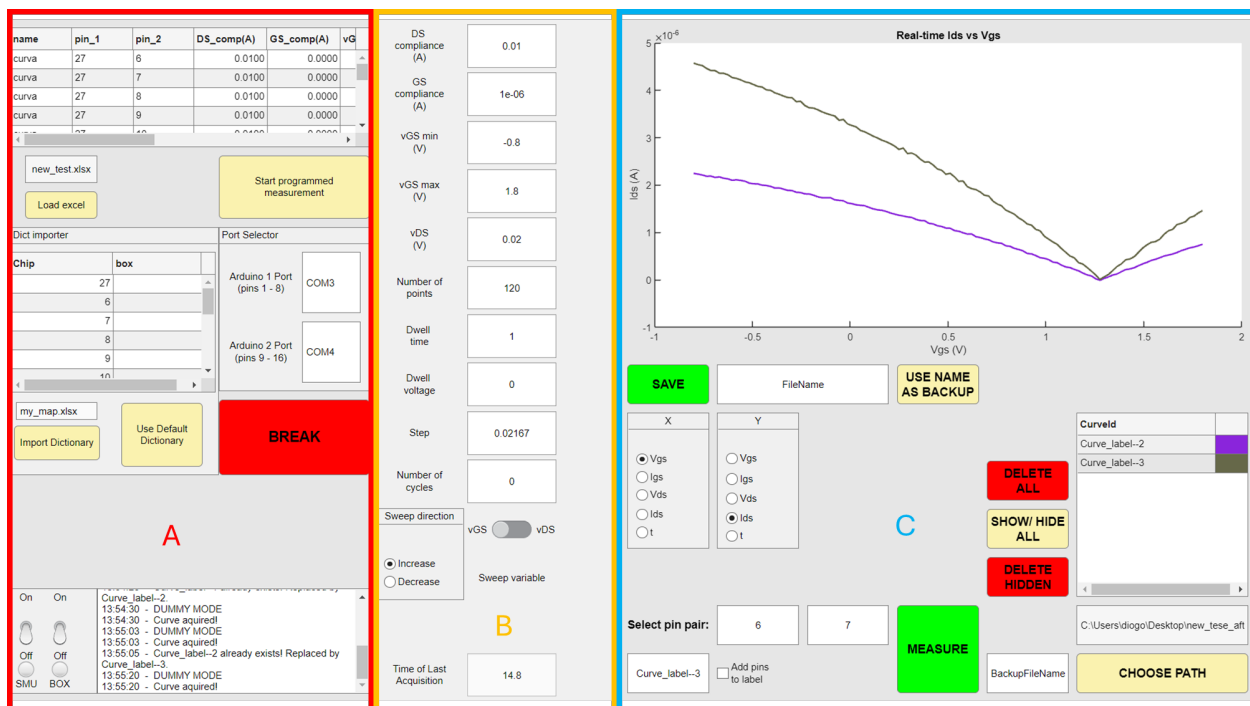


Figura 1: Visão geral da aplicação desenvolvida, dividida nas suas 3 principais componentes.

3 Descrição das Funcionalidades

Nesta secção serão abordadas com detalhe todas as funcionalidades da aplicação, separadas por secção.

3.1 Secção A

3.1.1 Conexão aos Periféricos

Como foi dito na introdução, a aplicação controla não só o SMU mas também um par de Arduinos, que se encontram dentro de uma caixa. A aplicação permite tanto a conexão direta do sensor ao SMU ou a utilização da caixa como *multiplexer*, como demonstrado na figura Fig 2.

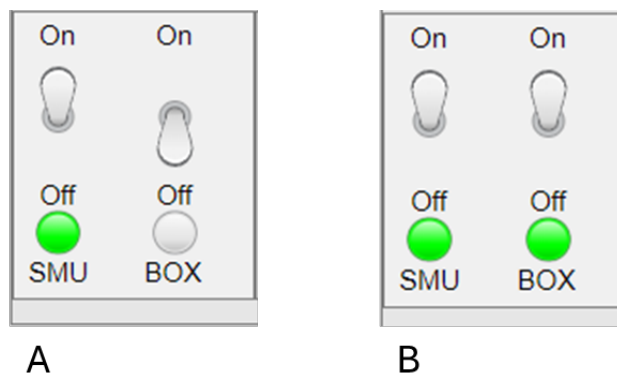


Figura 2: Modos de utilização. A) Modo SMU, onde não é efetuada a ligação aos Arduinos. Permite apenas medir o sensor que está diretamente ligado aos terminais do SMU. B) Modo BOX, onde é efetuada a ligação aos Arduinos. Desta fora a caixa atua como *multiplexer*, permitindo a medição de vários sensores consecutivos, com apenas um SMU.

A app, caso o modo BOX tenha sido selecionado, liga-se diretamente aos Arduinos. No entanto é necessário selecionar as portas dos mesmos, como se pode ver na figura Fig 3. As portas a adicionar podem ser encontradas no *Device Manager*.

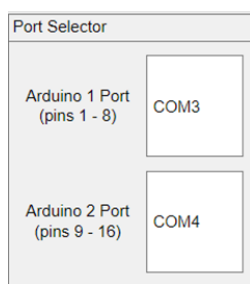


Figura 3: Seleção das portas dos Arduinos. As portas podem ser encontradas no *Device Manager*.

! É preciso ter cautela na seleção das portas. Uma vez que cada Arduino controla metade dos pins da caixa – como evidenciado na figura 3 – trocar as portas resulta na ativação dos sensores não pretendidos. Se não tiver a certeza das portas, sugere-se que desconecte um Arduino e verifique-se qual a porta do Arduino que permaneceu conectado.

3.1.2 Importação de Mapas de Medição

Como é expectável que diferentes conjuntos de sensores sejam analisados, decidiu-se implementar mapas de pins. Isto é um ficheiro que estabelece a correspondência entre o pin da caixa e o elétrodo do chip a que o pin está conectado. Desta forma, dá-se à aplicação os elétrodos do chip que se pretende atuar e o respetivo mapa, e os pins da caixa serão ativados de acordo. A principal vantagem desta estratégia é que caso se troque de chip basta atualizar o mapa, em vez de alterar fisicamente as ligações. Note-se que é possível importar um mapa *default*, que faz com que seja possível dar à aplicação os pins da caixa, e não os elétrodos do chip, como explicado na figura Fig 4.

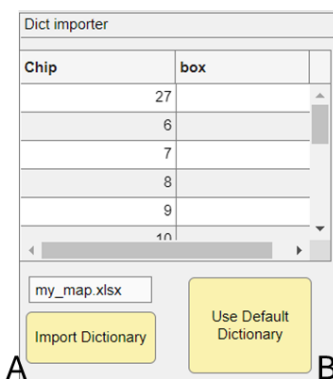


Figura 4: Importação de um mapa de pins. A) Ao carregar é possível escolher o ficheiro excel que contém o mapa. B) É automaticamente adicionado um mapa redundante, que permite o controlo direto da caixa.

3.1.3 Importação de tabelas de aquisição

Para reduzir a monotonia que é a aquisição de várias curvas consecutivas, implementou-se a automatização da tarefa. Assim, é possível importar um ficheiro excel onde cada linha é uma curva, e as colunas são os parâmetros da mesma. Na secção x encontra-se o formato deste e de outros ficheiros.

Tal como se pode ver pela figura Fig 5, para importar e correr o ficheiro basta clicar em **Load excel**, escolher um ficheiro na janela do Windows que abriu, e de seguida em **Start programmed measurement**.

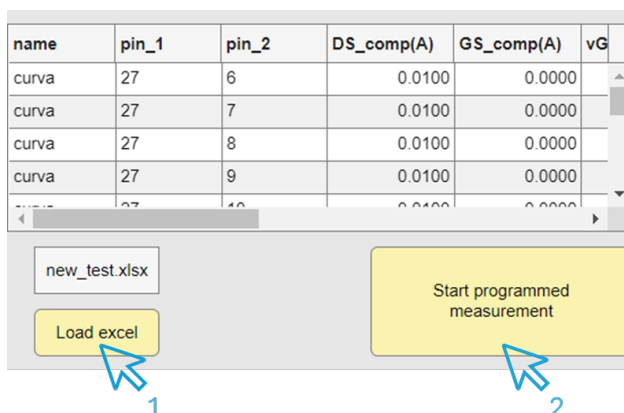




Figura 5: Importação de um ficheiro excel para automatização da aquisição de dados.

 Após clicar em **Start programmed measurement**, os parâmetros de cada linha são passados para a secção B, e é internamente ativado o botão **MEASURE** da secção C.

 Após clicar em **Start programmed measurement** é feita uma verificação automática que **todos** os pins presentes na tabela constam no mapa atual. Caso existam pins não presentes, uma mensagem de aviso é mostrada, onde é possível cancelar a operação, ou prosseguir-la até esta, inevitavelmente, falhar.

3.1.4 Interrupção da Aquisição

Durante cada aquisição, é possível carregar no botão vermelho que diz *BREAK*. Ao pressiona-lo, a aquisição é interrompida, e as células que são bloqueadas durante a aquisição voltam a estar disponíveis.


 Caso por alguma razão as células permaneçam bloqueadas, carregar neste botão ajuda a desbloqueá-las.

3.2 Secção B


3.2.1 Parâmetros de Medição

A baixo segue-se uma lista que explica brevemente os vários parâmetros possíveis de alterar:

- DS Compliance - Define a corrente *Drain Source* máxima, em amperes.
- GS Compliance - Define a corrente *Gate Source* máxima, em amperes.
- vGS min - Define o valor mínimo do vetor vGS a varrer, em volts.
- vGS max - Define o valor máximo do vetor vGS a varrer, em volts.
- vDS - Define o valor fixo de tensão a aplicar entre a *Drain* e *Source*, em volts.
- Number of points - Define o número de pontos do vetor vGS a aplicar.

 Este parâmetro está diretamente relacionado com o step. Alterar um automaticamente altera o outro.

- Dwell time - Tempo, em segundos, em que se aplica a Dwell voltage antes de iniciar a aquisição.
- Dwell voltage - Tensão, em volts, que se aplica durante o Dwell time, antes de iniciar a aquisição
- Step - Separação em tensão entre cada ponto do vetor vGS.

 Este parâmetro está diretamente relacionado com o Number of points. Alterar um automaticamente altera o outro.

- Number of cycles - Número de ciclos em cada curva.
 - 0 significa um varrimento de vGSmin até vGSmax.
 - 1 significa um varrimento de vGSmin até vGSmax e de volta a vGS min.
 - 2 significa dois varrimentos de vGSmin até vGSmax e de volta a vGS min.
- Sweep direction - Controla a direção da aquisição da curva.
- Slider vGS-vDS - Seleciona o tipo de curva a adquirir, uma curva característica ou VI.



Este slider altera não só a curva a adquirir como a secção C. Ou seja, para cada tipo de curva existe uma secção C independente.

3.3 Secção C

3.3.1 Visualização dos Dados

No topo da secção existe um eixo onde são representadas as curvas adquiridas. Cada curva apenas é representada no final da aquisição. É possível interagir com este eixo.

3.3.2 Escolha dos Eixos

É possível, enquanto não está a ocorrer a aquisição, escolher os eixos representados. Esta escolha pode ser feita nas caixas representadas na figura 6.

X	Y
<input checked="" type="radio"/> Vgs	<input type="radio"/> Vgs
<input type="radio"/> Igs	<input type="radio"/> Igs
<input type="radio"/> Vds	<input type="radio"/> Vds
<input type="radio"/> Ids	<input checked="" type="radio"/> Ids
<input type="radio"/> t	<input type="radio"/> t

Figura 6: Caixas onde é possível seleccionar os eixos representados.

3.3.3 Aquisição de uma Única Curva

É possível adquirir uma única curva, sem recorrer ao ficheiro excel mencionado anteriormente. Para isso basta introduzir os pins pretendidos nas caixas de texto apropriadas, e carregar no botão **MEASURE**.



Os pins não podem ser repetidos. Uma mensagem de erro aparece caso o sejam.

3.3.4 Gestão de curvas

Após cada aquisição, a curva é representada no eixo, e a sua *label* é adicionada na tabela *CurveID*, com a respetiva cor ao lado. Estas *labels* são iterativas, e pressioná-las esconde ou mostra a curva respetiva.

A *label* pode ser escolhida na caixa de texto inferior esquerda da secção C. Caso a *label* escolhida já exista, esta é atualizada com um identificador numérico.

À direita desta caixa existe duas *check boxes*:

- Add pins to label - Adiciona os pins selecionados à *label* da curva.
- Add resistance to label - **Apenas disponível na aquisição de curvas VI** Adiciona a resistência calculada através da curva à *label*.

Existem três botões responsáveis pela gestão de curvas:

- **DELETE ALL** - Apaga todas as curvas adquiridas até ao momento.
- **SHOW/HIDE ALL** - Esconde ou mostra todas as curvas.

- **DELETE HIDDEN** - Apaga apenas as curvas escondidas.



Nenhuma destas ações afeta o outro tipo de curvas adquiridas (curva característica/VI).

3.3.5 Gestão de Dados

Após cada aquisição, a mesma é guardada imediatamente e automaticamente no ficheiro cujo o nome consta na caixa de texto à direita do botão **MEASURE**.



As curvas são sempre adicionadas ao ficheiro, sem nunca substituírem uma existente. Caso este ficheiro fique muito grande pode atrasar a execução do programa.

Os dados podem ser salvos manualmente, ao clicar no botão **SAVE**, de baixo do eixo, à esquerda. O ficheiro resultante tem o nome inserido na caixa de texto à direita do botão **SAVE**.



Apenas as curvas visíveis são salvas.



Caso um ficheiro com o mesmo nome já exista, será substituído.

O botão **USE NAME AS BACKUP** simplesmente aloca o nome que está associado ao *saving* manual no *saving* automático.

4 Estrutura de Ficheiros

4.1 Ficheiros importados

4.1.1 Tabela de aquisição

O formato da tabela de aquisição varia ligeiramente consoante o tipo de curva a adquirir. Caso a aplicação detete que a tabela não está conforme o esperado, ou é a tabela referente à outra curva, uma mensagem de erro aparece e o processo é interrompido. Nas figuras Fig 7 e Fig 8 pode-se ver a estrutura da tabela para a aquisição da curva característica e VI, respetivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	name	pin_1	pin_2	DS_comp(A)	GS_comp(A)	vGS_min(V)	vGS_max(V)	vDS(V)	n_points	step_size	dwel_time	dwel_voltage	cycles
2	curva	27	6	0.01	1.00E-06	-0.5	1	0.1	30	0.051724138	1	0	0

Figura 7: Estrutura da tabela para a aquisição da curva característica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	name	pin_1	pin_2	DS_comp(A)	GS_comp(A)	vDS_min(V)	vDS_max(V)	vGS(V)	n_points	step_size	dwel_time	dwel_voltage	cycles
2	curva	27	6	0.01	1.00E-06	0	1	0.1	30	0.051724138	1	0	0

Figura 8: Estrutura da tabela para a aquisição da curva VI.

Como se pode ver, apenas se troca a tensão fixa e as tensões mínimas e máximas do vetor de varrimento.

4.1.2 Mapa

A tabela de mapeamento, simplesmente estabelece uma relação direta entre os elétrodos do chip e os pins da caixa, como se pode ver pela figura 9.

	A	B
1	chip	caixa
2	5	1
3	6	2
4	7	3
5	8	4
6	9	5
7	10	6
8	11	16
9	12	7
10	13	9
11	14	10
12	15	11
13	16	12
14	17	13
15	18	14
16	20	8
17	26	15

Figura 9: Estrutura do ficheiro de mapeamento.

4.2 Ficheiro Gerados pela aplicação

Como já discutido a aplicação salva dados de duas formas, manualmente e automaticamente, como segurança. Em cada um destes casos, são gerados dois ficheiros: .mat e .json. Desta forma os dados tanto são facilmente usados em MATLAB, como noutro programa.

5 Requisitos

Esta aplicação não necessita mas beneficia da versão mais atualizada do MATLAB.

Necessita das seguintes *packages*:

- MATLAB Support Package for Arduino Hardware
- Instrument Control Toolbox