

# EGer Lab 1

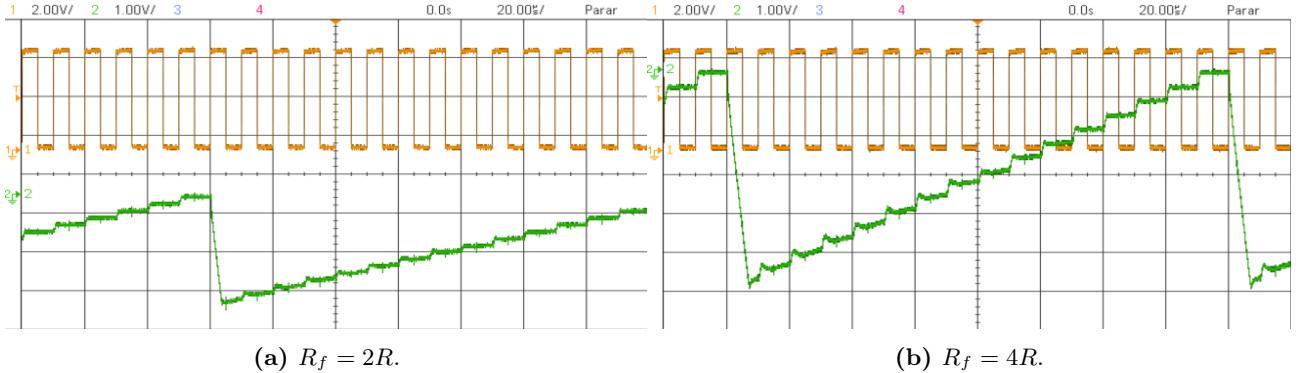
L. Pedroso

29 de Novembro de 2020

## 1 Estudo funcional do conversor D/A

### 1.1 Trabalho experimental

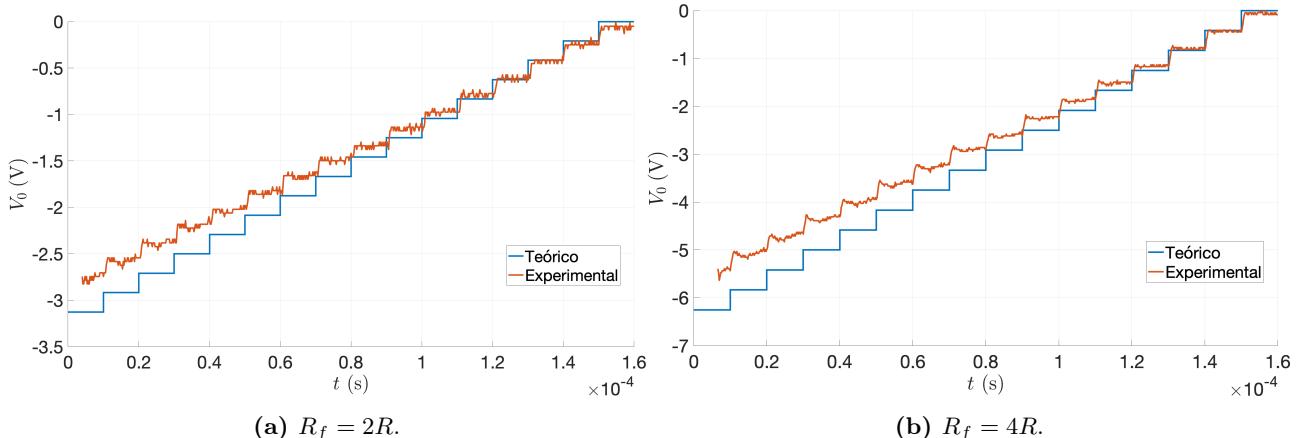
A montagem da Fig. ?? foi executada no módulo experimental TEE-08, apresentado na Fig. ??, em que as entradas  $S_1, \dots, S_4$  do DAC são fornecidas diretamente das quatro portas lógicas NOR. O valor da resistência  $R_f$  foi ajustado para  $R_f = 2R$ , numa primeira instância, e  $R_f = 4R$  seguidamente. Na Fig. 1 são apresentadas as formas de onda observadas em laboratório para os dois valores selecionados para  $R_f$ . Analisando estas formas de onda verifica-se que a sua forma é muito semelhante ao esperado teoricamente, apresentado graficamente na Fig. ???. Na verdade, é de salientar que as escalas das Figs. 1a e 1b foram propositadamente ajustadas por forma a serem iguais, sendo visível que a diferença de tensão entre patamares é o sensivelmente o dobro para  $R_f = 4R$  em relação a  $R_f = 2R$ , como previsto na Secção ???. É também visível que, a transição do patamar de maior tensão para o patamar de menor tensão não é instantânea. Este fenómeno é devido ao *slew rate* do AmpOp e será estudado com mais detalhe na Secção ???.



**Figura 1:** Sinais observados no osciloscópio da saída do DAC (verde) e do sinal de *clock* (laranja).

### 1.2 Comparação de resultados

Nesta subsecção os resultados experimentais obtidos em laboratório, e apresentados na subsecção anterior, são analisados com detalhe e comparados com os previstos teoricamente na Secção ???. Na Fig. 2 são apresentados os sinais observados nos osciloscópio no laboratório com os previstos teoricamente, para 16 períodos de *clock*, tanto para  $R_f = 2R$  como para  $R_f = 4R$ . Foi omitida a transição  $15 \rightarrow 0$ , visto que ela será estudada detalhadamente na Secção ???. Ao analisar estas figuras, comparando os valores experimentais com os teóricos é evidente a existência de um grande desfasamento entre eles. Na verdade, verificamos que a componente principal do desfazamento verificado é proporcional à tensão de saída do DAC, não existindo uma componente de erro não proporcional que seja significativa. Este fenómeno verifica-se para ambos os valores de  $R_f$  usados. Assim, analisando a equação que expressa a saída do DAC (???) podemos concluir que a existência de um erro proporcional predominante é indicativo que a fonte de erro predominante é: i) a resistência  $R_f$ ; ii) a tensão lógica  $V_{ref}$ ; ou iii) a combinação de i) e ii).



**Figura 2:** Comparação dos sinais observados no osciloscópio da saída do DAC com os esperados teoricamente, ao longo de 16 períodos de *clock*.

Por forma avaliar com mais detalhe e objetivamente o desfasamento entre resultados teóricos e experimentais, determinou-se o valor dos patamares de tensão experimentais correspondendo a cada um dos números representados em binário à saída das portas lógicas NOR. Para tal, o sinal obtido do osciloscópio foi filtrado fazendo uso de um filtro *moving average* com uma janela de retrocesso de 10 amostras e de avanço de 9 amostras (com um total de  $10 + 1 + 9 = 20$  amostras). A tensão do patamar foi estimada como sendo o valor de tensão do sinal filtrado aquando da queda do sinal de *clock*, i.e., a meio de cada patamar. Os valores de tensão de cada patamar obtidos experimentalmente, bem como a sua comparação com os respetivos valores previstos teoricamente, são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respetivamente para  $R_f = 2R$  e  $R_f = 4R$ . Como observado na análise das formas de onda obtidas no laboratório verificamos que para  $Q = 0, \dots, 7$ , para ambos os valores de  $R_f$ , o desfazamento relativo é aproximadamente constante, indicando a presença de erro proporcional com a tensão. Para valores de  $Q > 7$  a tensão  $V_0$  é mais reduzida em módulo, portanto a componente proporcional do erro deixa de ser preponderante, e outras componentes do erro associadas ao método experimental começam a fazer-se notar, como por exemplo, desfazamentos nos valores das resistências da escada R-2R e o erro de quantização do osciloscópio. É de salientar que o elevado erro relativo visível para  $Q = 14$  e  $R_f = 2R$  é causado pelo facto de se estar a trabalhar mais reduzidas, e a exatidão das medições nesta situação se degradar. A degradação da exatidão é devida ao baixo rácio sinal-ruído (SNR) num sinal próximo de 0. Ainda que o erro relativo seja significativo, o erro absoluto é inferior a um quinto da separação teórica entre patamares. Na Tabela 2 é ainda apresentado o rácio entre patamares com o mesmo  $Q$  para  $R_f = 4R$  e  $R_f = 2R$ . Verificamos que o quociente de todos os valores são muito próximos do valor esperado teoricamente de 2, como analisado na Secção ???. Note-se que não faz sentido calcular o rácio para  $Q = 15$  visto que se prevê que a saída do DAC seja nula em ambas as situações. De facto, ainda que experimentalmente não seja nula, são muito reduzidas em módulo, pelo que o valor resultante não faria sentido, dada o baixo SNR da amostragem.

Foi analisada ainda a diferença experimental entre a tensão de patamares consecutivos. Estes valores, bem como a sua comparação com o previsto teoricamente, são apresentados na Tabela 3. Como se verifica a partir da análise desta tabela, os erros relativos são significativos e a diferença entre patamares medida experimentalmente é consistentemente inferior à prevista teoricamente. Este efeito é compatível com a análise anterior da introdução de erro experimental significativo no valor de  $V_{ref}$  e  $R_f$ .

Por forma a avaliar se, de facto, é plausível que o desfasamento obtido entre resultados experimentais e resultados previstos teoricamente se deva a desvios dos valores de  $V_{ref}$  e  $R_f$  experimentais em relação aos seus valores nominais, como analisado anteriormente, iremos calcular os desvios destes parâmetros que explicam os resultados laboratoriais. Seguidamente, usando os valores de  $R_f$  e  $V_{ref}$  ajustados usando os dados experimentais da Secção ?? para calcular resultados teóricos ajustados para o ensaio independente apresentado na Secção ??, será avaliado se estes explicam o observado em laboratório. É de notar que, uma vez que os valores de  $V_{ref}$  e  $R_f$  são ajustados para explicar os resultados laboratoriais da Secção ??, é evidente que os resultados previstos

**Tabela 1:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para  $R_f = 2R$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-3.125	-2.784	0.3410	10.91%
1	-2.917	-2.591	0.3256	11.17%
2	-2.708	-2.402	0.3063	11.31%
3	-2.500	-2.219	0.2808	11.23%
4	-2.292	-2.052	0.2393	10.44%
5	-2.083	-1.851	0.2320	11.14%
6	-1.875	-1.674	0.2006	10.70%
7	-1.667	-1.5	0.1671	10.03%
8	-1.458	-1.347	0.1115	7.648%
9	-1.250	-1.156	0.09416	7.533%
10	-1.042	-0.9729	0.06874	6.599%
11	-0.8333	-0.784	0.04935	5.922%
12	-0.6250	-0.6131	0.01187	1.899%
13	-0.4167	-0.4242	-0.007517	-1.804%
14	-0.2083	-0.2493	-0.04098	-19.67%
15	0.0000	-0.05433	-0.05433	—

**Tabela 2:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para  $R_f = 4R$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	$V_{04R}/V_{02R}$	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-6.250	-5.470	1.965	0.7802	12.48%
1	-5.833	-5.120	1.976	0.7132	12.23%
2	-5.417	-4.762	1.983	0.6544	12.08%
3	-5.000	-4.382	1.975	0.6176	12.35%
4	-4.583	-4.025	1.961	0.5587	12.19%
5	-4.167	-3.649	1.971	0.5179	12.43%
6	-3.750	-3.293	1.967	0.4570	12.19%
7	-3.333	-2.919	1.947	0.4142	12.43%
8	-2.917	-2.632	1.954	0.2850	9.772%
9	-2.500	-2.256	1.952	0.2442	9.769%
10	-2.083	-1.890	1.943	0.1934	9.282%
11	-1.667	-1.524	1.944	0.1425	8.553%
12	-1.250	-1.162	1.896	0.08769	7.015%
13	-0.8333	-0.7985	1.882	0.03484	4.181%
14	-0.4167	-0.4286	1.719	-0.01198	-2.874%
15	0.0000	-0.05477	—	-0.05477	—

ajustados para esse ensaio sejam, de forma artificial, muito próximos do observado experimentalmente. No entanto, ao comparar os resultados previsto ajustados com os resultados experimentais para um ensaio distinto e independente (como apresentado na Secção ??) do usado para o ajuste dos parâmetros, é possível avaliar com mais confiança a hipótese feita sobre a origem do erro. Comecemos por assumir, como aproximação, que o erro devido aos desvios de  $V_{ref}$  e  $R_f$ , para tensões à saída do DAC suficientemente elevadas em módulo ( $Q < 8$ ), é predominante e que as restantes fontes de erro são desprezáveis. Dada a forma como a montagem é efetuada no módulo experimental TEE-08, apresentado na Fig. ??, a resistência  $R_f$  experimental é dada por  $(R_f)_{exp} = (R_a)_{exp}$  para  $R_f = 2R$  e  $(R_f)_{exp} = (R_a)_{exp} + (R_b)_{exp}$  para  $R_f = 4R$ . Em que  $R_a$  e  $R_b$  são resistências presentes no módulo experimental de valor nominal  $R_a = R_b = 2R$ . Destas a única que foi possível medir experimentalmente foi  $(R_b)_{exp} = 24.08\text{k}\Omega$ . Dividindo a equação da saída do DAC (??) usando experimentais pela equação (??) usando parâmetros nominais, obtemos a seguinte relação

$$\frac{(V_0)_{exp}^{R_f=2R}(Q=i)}{V_0^{R_f=2R}(Q=i)} = \frac{(V_{ref})_{exp}}{V_{ref}} \frac{(R_a)_{exp}}{R_a} = \frac{(V_{ref})_{exp}}{V_{ref}} \frac{(R_a)_{exp}}{2R}, \quad (1)$$

**Tabela 3:** Comparação entre diferença entre a tensão em patamares consecutivos medida experimentalmente e esperada teoricamente.

Transição	$\Delta V$ ( $R_f = 2R$ )	Erro relativo ( $R_f = 2R$ )	$\Delta V$ ( $R_f = 4R$ )	Erro relativo ( $R_f = 4R$ )
$0 \rightarrow 1$	0.1930	-7.377%	0.3497	16.06 %
$1 \rightarrow 2$	0.1889	-9.307%	0.3578	14.13%
$2 \rightarrow 3$	0.1829	-12.20%	0.3799	8.824%
$3 \rightarrow 4$	0.1668	-19.92%	0.3578	14.13%
$4 \rightarrow 5$	0.2010	-3.518%	0.3759	9.789%
$5 \rightarrow 6$	0.1769	-15.10%	0.3558	14.61%
$6 \rightarrow 7$	0.1749	-16.06%	0.3739	10.27%
$7 \rightarrow 8$	0.1528	-26.67%	0.2874	31.02%
$8 \rightarrow 9$	0.1910	-8.342%	0.3759	9.789%
$9 \rightarrow 10$	0.1829	-12.20%	0.3658	12.20%
$10 \rightarrow 11$	0.1889	-9.307%	0.3658	12.20%
$11 \rightarrow 12$	0.1709	-17.99%	0.3618	13.17%
$12 \rightarrow 13$	0.1889	-9.307%	0.3638	12.68%
$13 \rightarrow 14$	0.1749	-16.06%	0.3698	11.24%
$14 \rightarrow 15$	0.1950	-6.412%	0.3739	10.27%

para  $R_f = 2R$  e  $i = 0, \dots, 7$  e

$$\frac{(V_0)_{exp}^{R_f=4R}(Q=i)}{V_0^{R_f=4R}(Q=i)} = \frac{(V_{ref})_{exp}}{V_{ref}} \frac{(R_a)_{exp} + (R_b)_{exp}}{R_a + R_b} = \frac{(V_{ref})_{exp}}{V_{ref}} \left( \frac{1}{2} \frac{(R_a)_{exp}}{2R} + \frac{1}{2} \frac{(R_b)_{exp}}{2R} \right), \quad (2)$$

para  $R_f = 4R$  e  $i = 0, \dots, 7$ . Temos, da medição de  $R_b$ , que

$$\frac{(R_b)_{exp}}{2R} = 1.003, \quad (3)$$

e da média do erro relativo apresentado nas Tabelas 1 e 2 para  $Q = 0, \dots, 7$  que

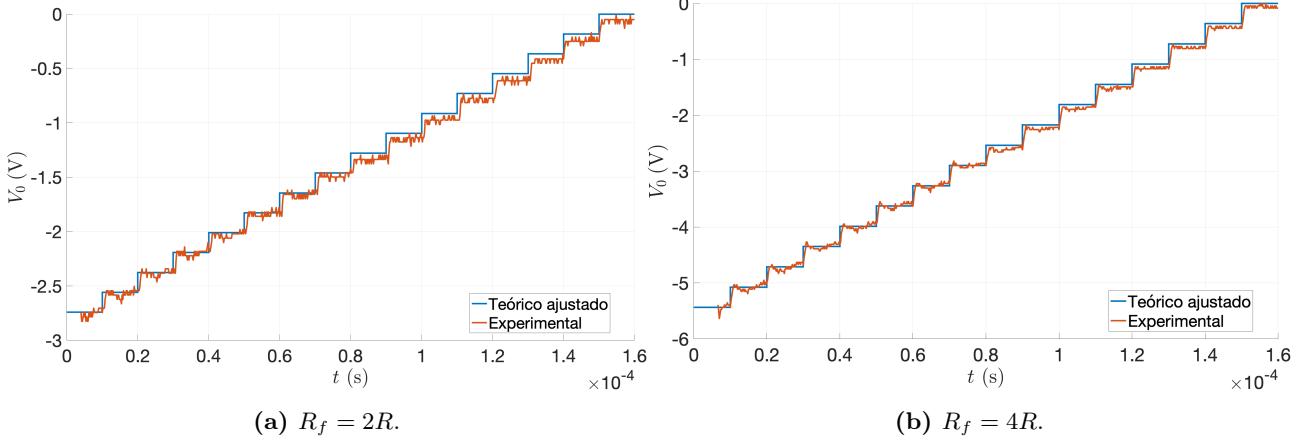
$$\frac{(V_0)_{exp}^{R_f=2R}(Q=i)}{V_0^{R_f=2R}(Q=i)} = 0.8770 \quad \text{e} \quad \frac{(V_0)_{exp}^{R_f=2R}(Q=i)}{V_0^{R_f=2R}(Q=i)} = 0.8913. \quad (4)$$

Resolvendo (1) e (2) em ordem a  $(R_a)_{exp}/R_a$  e  $(V_{ref})_{exp}/V_{ref}$  obtém-se

$$(R_a)_{exp}/R_a = 1.020 \quad \text{e} \quad \frac{(V_{ref})_{exp}}{V_{ref}} = 0.8598, \quad (5)$$

pelo que  $(R_a)_{exp} = 24.48k\Omega$  e  $(V_{ref})_{exp} = 4.299$  V. Assim, para  $R_f = 2R$  temos  $(R_f)_{exp} = (R_a)_{exp} = 24.48k\Omega$  e para  $R_f = 4R$  temos  $(R_f)_{exp} = (R_a)_{exp} + (R_b)_{exp} = 48.56k\Omega$ .

Na Fig. 3 são apresentados os sinais observados nos osciloscópio no laboratório com os previstos teoricamente com os parâmetros  $R_f$  e  $V_{ref}$  ajustados, para 16 períodos de *clock*, tanto para  $R_f = 2R$  como para  $R_f = 4R$ . Verificamos que, de facto, os valores previstos teoricamente calculados com os parâmetros ajustados são muito próximos dos observados no laboratório. Este resultado é, no entanto, artificial visto que  $R_f$  e  $V_{ref}$  foram ajustados para modelar os resultados experimentais obtidos neste ensaio. Por forma a validar, a hipótese de que é plausível que a principal fonte de erro seja  $R_f$  e  $V_{ref}$ , serão comparados os resultados experimentais da Secção ?? com os previstos teoricamente com os parâmetros ajustados. É visível, no entanto, que ainda existe uma componente de erro sistemático para  $Q > 7$ , obtendo-se resultados experimentais consistentemente inferiores aos previsão teórica ajustada. Este desfazamento deve-se a desvios em relação aos valores nominais da escada R-2R, que foram desprezados no cálculo da previsão teórica ajustada.

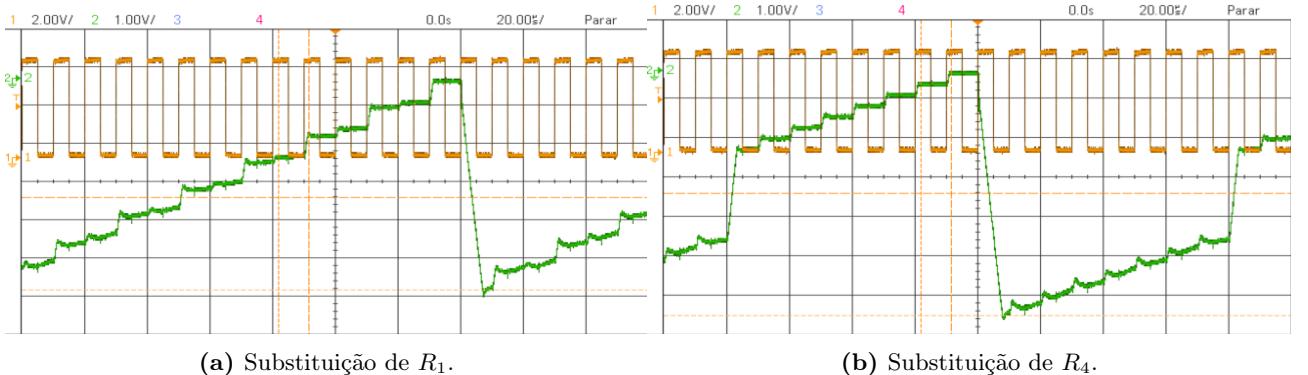


**Figura 3:** Comparação dos sinais observados no osciloscópio da saída do DAC com os esperados teoricamente, após ajuste de  $V_{ref}$  e  $R_f$ .

## 2 Influência das resistências de entrada

### 2.1 Trabalho experimental

A montagem da Fig. ?? foi executada no módulo experimental TEE-08, apresentado na Fig. ??, de forma a que numa primeira instância  $R_1 = 2R$  é substituído por  $R$  e numa segunda instância  $R_4 = 2R$  é substituído por  $R$ . O valor da resistência  $R_f$  é mantido a  $R_f = 4R$  nos dois ensaios. Na Fig.4 são apresentadas as formas de onda observadas em laboratório para a substituição de  $R_1$  e  $R_4$  respetivamente. Analisando estas formas de onda verifica-se que a sua forma é muito semelhante ao esperado teoricamente, apresentado graficamente na Fig. ???. Na verdade, é possível distinguir a transição  $Q = 7 \rightarrow Q = 8$  aquando da substituição de  $R_4$ , como sendo a mais expressiva. Para além disso, à semelhança do observado na Secção ?? para também visível que, a transição do patamar de maior tensão para o patamar de menor tensão não é instantânea. Este fenômeno é devido ao *slew rate* do AmpOp e será estudado com mais detalhe na Secção ??.

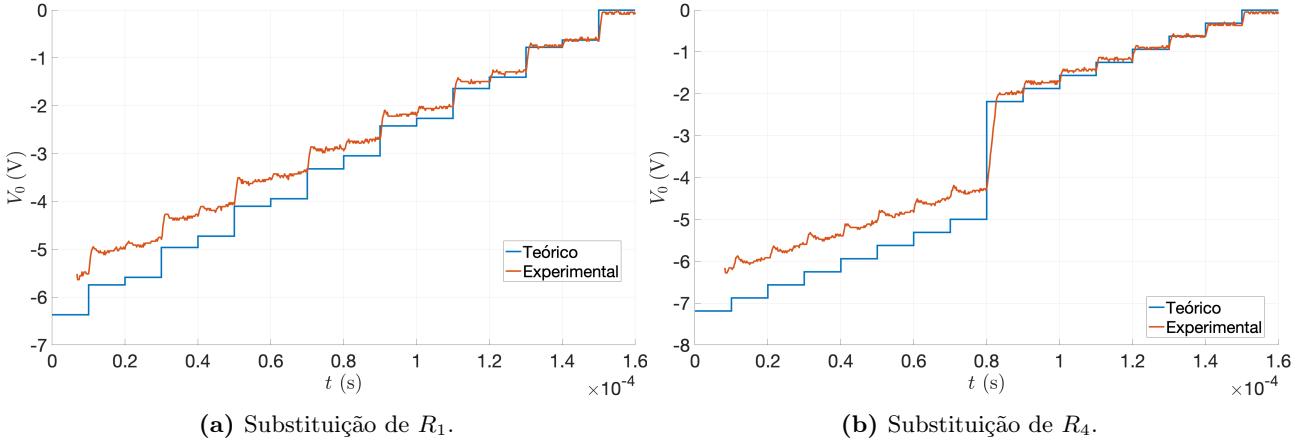


**Figura 4:** Sinais observados no osciloscópio da saída do DAC (verde) e do sinal de *clock* (laranja).

### 2.2 Comparação de resultados

Nesta subsecção os resultados experimentais obtidos em laboratório, e apresentados na subsecção anterior, são analisados com detalhe e comparados com os previstos teoricamente na Secção ???. Na Fig. 5 são apresentados os sinais observados nos osciloscópio no laboratório com os previstos teoricamente, para 16 períodos de *clock*, tanto para a substituição de  $R_1$  como de  $R_4$ . Foi omitida a transição  $15 \rightarrow 0$ , visto que ela será estudada detalhadamente na Secção ???. Ao analisar estas figuras, comparando os valores experimentais com os teóricos é evidente, à semelhança dos resultados experimentais da Secção ?? a existência de um grande desfasamento

entre eles. Na verdade, verificamos que, para ambas as substituições, a componente principal do desfazamento verificado é proporcional à tensão de saída do DAC, não existindo uma componente de erro não proporcional que seja significativa, corroborando a análise da origem do desfasamento dos resultados experimentais efetuada na Secção ??.



**Figura 5:** Comparaçāo dos sinais observados no osciloscópio da saída do DAC com os esperados teoricamente, ao longo de 16 períodos de *clock*.

Por forma avaliar com mais detalhe e objetivamente o desfasamento entre resultados teóricos e experimentais, a determinação do valor dos patamares de tensão experimentais correspondendo a cada um dos números representados em binário à saída das portas lógicas NOR. O procedimento para a determinação da tensão dos patamares é igual ao descrito na Secção 1.2. Os valores de tensão de cada patamar obtidos experimentalmente, bem como a sua comparação com o respetivos valores previstos teoricamente, são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respetivamente para a substituição de  $R_1$  e de  $R_4$ . Como observado na análise das formas de onda obtidas no laboratório verificamos que para  $Q = 0, \dots, 7$ , para ambos os valores de  $R_f$ , o desfazamento relativo é aproximadamente constante, indicando a presença de erro proporcional com a tensão, corroborando a análise da origem do desfasamento dos resultados experimentais efetuada na Secção ???. Para além disso, verifica-se que para valores de  $Q > 7$  a tensão  $V_0$  é mais reduzida em módulo, portanto a componente proporcional do erro deixa de ser preponderante, e outras componentes do erro associadas ao método experimental começam a fazer-se notar, como por exemplo, desfazamentos nos valores das resistências da escada R-2R e o erro de quantização do osciloscópio. É de salientar que o elevado erro relativo visível para  $Q = 14$  com a substituição de  $R_4$  é causados pelo facto de se estar a trabalhar mais reduzidas, e a exatidão das medições nesta situação se degradar. A degradação da exatidão é devida ao baixo rácio sinal-ruído (SNR) num sinal próximo de 0.

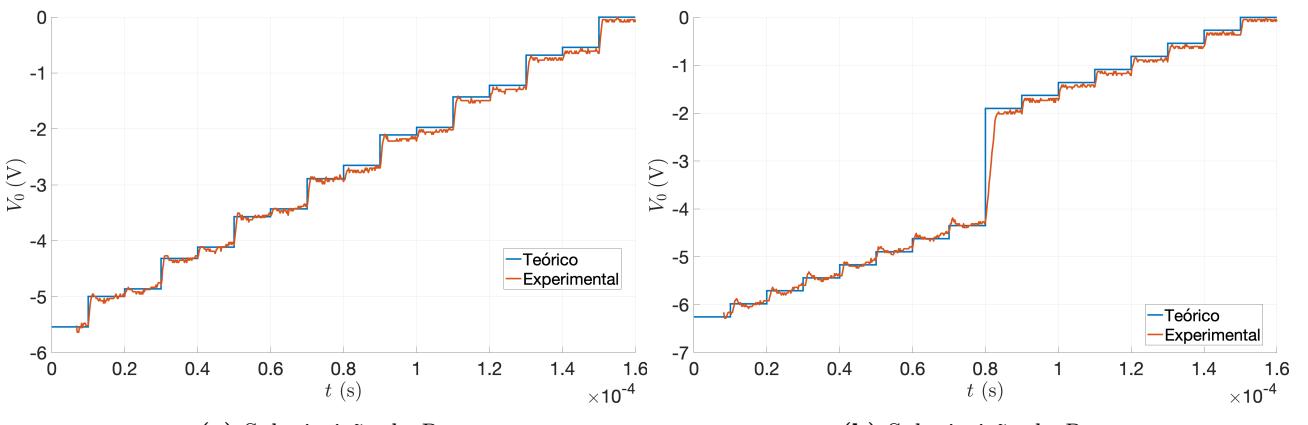
Na Fig. 6 são apresentados os sinais observados nos osciloscópio com os previstos teoricamente com os parâmetros  $R_f$  e  $V_{ref}$  ajustados, para 16 períodos de *clock*, tanto para a substituição de  $R_1$  como de  $R_4$ . Os valores de tensão de cada patamar obtidos experimentalmente, bem como a sua comparação com o respetivos valores teóricos ajustados, são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respetivamente para a substituição de  $R_1$  e de  $R_4$ . Verificamos que, de facto, os valores previstos teoricamente calculados com os parâmetros ajustados são muito próximos dos observados no laboratório. Este resultados laboratoriais não foram usados para o ajuste dos parâmetros, pelo que podemos afirmar, dado o bom modelo do DAC com  $R_f$  e  $V_{ref}$  ajustados, que é esta a fonte predominante de erro verificada nos resultados laboratoriais das Secções ?? e ???. É visível, no entanto, que ainda existe uma componente de erro sistemático para  $Q > 7$ , obtendo-se resultados experimentais consistentemente inferiores aos previsão teórica ajustada. Este desfazamento deve-se a desvios em relação aos valores nominais da escada R-2R, que foram desprezados no cálculo da previsão teórica ajustada. Para além disso, para tensões baixas em módulo à saída do DAC, o sinal amostrado tem um baixo SNR, pelo que é esperado que os erros relativos aumentem à medida que a saída se aproxima de 0.

**Tabela 4:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para a substituição de  $R_1$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-6.367	-5.562	0.8049	12.64%
1	-5.742	-5.056	0.6864	11.95%
2	-5.586	-4.905	0.6809	12.19%
3	-4.961	-4.358	0.6026	12.15%
4	-4.727	-4.157	0.5693	12.04%
5	-4.102	-3.596	0.5051	12.31%
6	-3.945	-3.458	0.4875	12.36%
7	-3.320	-2.923	0.3972	11.96%
8	-3.047	-2.754	0.2926	9.603%
9	-2.422	-2.202	0.2204	9.099%
10	-2.266	-2.053	0.2129	9.395%
11	-1.641	-1.504	0.1366	8.326%
12	-1.406	-1.307	0.09922	7.055%
13	-0.7812	-0.7583	0.02296	2.939%
14	-0.6250	-0.6216	0.003392	0.5428%
15	0.0000	-0.05879	-0.05879	—

**Tabela 5:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para a substituição de  $R_4$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-7.188	-6.206	0.9820	13.66%
1	-6.875	-6.023	0.8524	12.40%
2	-6.562	-5.751	0.8112	12.36%
3	-6.250	-5.462	0.7882	12.61%
4	-5.938	-5.194	0.7430	12.51%
5	-5.625	-4.897	0.7280	12.94%
6	-5.312	-4.618	0.6949	13.08%
7	-5.000	-4.352	0.6477	12.95%
8	-2.188	-2.001	0.1870	8.548%
9	-1.875	-1.739	0.1358	7.243%
10	-1.562	-1.44	0.1228	7.859%
11	-1.250	-1.174	0.07563	6.050%
12	-0.9375	-0.907	0.03047	3.250%
13	-0.6250	-0.6236	0.001382	0.2212%
14	-0.3125	-0.3442	-0.03172	-10.15%
15	0.0000	-0.06281	-0.06281	—



**Figura 6:** Comparação dos sinais observados no osciloscópio da saída do DAC com os esperados teoricamente, após ajuste de  $V_{ref}$  e  $R_f$ .

**Tabela 6:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para a substituição de  $R_1$ , após ajuste de  $V_{ref}$  e  $R_f$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-5.538	-5.562	-0.02393	-0.4322%
1	-4.995	-5.056	-0.06105	-1.222%
2	-4.859	-4.905	-0.0462	-0.9509%
3	-4.315	-4.358	-0.04311	-0.9991%
4	-4.111	-4.157	-0.04598	-1.118%
5	-3.568	-3.596	-0.02882	-0.8077%
6	-3.432	-3.458	-0.02603	-0.7586%
7	-2.888	-2.923	-0.03500	-1.212%
8	-2.650	-2.754	-0.1040	-3.924%
9	-2.107	-2.202	-0.09489	-4.504%
10	-1.971	-2.053	-0.08205	-4.164%
11	-1.427	-1.504	-0.07695	-5.392%
12	-1.223	-1.307	-0.08384	-6.854%
13	-0.6796	-0.7583	-0.07874	-11.59%
14	-0.5436	-0.6216	-0.07796	-14.34%
15	0.000	-0.05879	-0.05879	—

**Tabela 7:** Comparação entre a tensão dos patamares medida experimentalmente e esperada teoricamente para a substituição de  $R_4$ , após ajuste de  $V_{ref}$  e  $R_f$ .

$Q$	Teórico (V)	Experimental (V)	Erro absoluto (V)	Erro relativo
0	-6.252	-6.206	0.04638	0.7419%
1	-5.980	-6.023	-0.04253	-0.7111%
2	-5.708	-5.751	-0.04299	-0.7531%
3	-5.436	-5.462	-0.02537	-0.4666%
4	-5.165	-5.194	-0.02985	-0.5780%
5	-4.893	-4.897	-0.004186	-0.08555%
6	-4.621	-4.618	0.003389	0.07334%
7	-4.349	-4.352	-0.003107	-0.07143%
8	-1.903	-2.001	-0.09775	-5.137%
9	-1.631	-1.739	-0.1083	-6.638%
10	-1.359	-1.440	-0.08059	-5.929%
11	-1.087	-1.174	-0.08708	-8.009%
12	-0.8155	-0.9070	-0.09157	-11.23%
13	-0.5436	-0.6236	-0.07997	-14.71%
14	-0.2718	-0.3442	-0.07240	-26.63%
15	0.0000	-0.06281	-0.06281	—