

6 RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. Avaliação do tempo de resposta

Avaliou-se o tempo de resposta dos Pares E-D uma vez que estiveram localizados na maquete.

Mediu-se o tempo de resposta (tempo que demora em responder o fotodetector até alcançar o nível máximo do sinal) e a constante de tempo (tempo que demora em responder o fotodetector até alcançar ao 63,2% do nível máximo do sinal).

Os sinais gerados pelos fotodetectores (tensão de saída) foram medidos em volts utilizando o osciloscópio HP 54645A. Utilizou-se a escala de 500mV/div (resolução de 50mV). A Tensão de saída gerada pelos fotodetectores foi de 2,750V em todos os casos.

Na base de tempo, as leituras foram feitas na escala de 1 μ s/div (resolução de 0,1 μ s) e 2 μ s/div (resolução 0,2 μ s) em todos os casos, exceto para medir o tempo de resposta de queda do sinal no Par E-D 1, que apresentou um Tempo de resposta igual a 720 μ s, nesse caso as leituras foram feitas utilizando a escala de 100 μ s/div, (resolução de 10 μ s). As medições foram feitas a 25,1 \pm 0,3°C, condições de referência recomendadas pelo fabricante.

Foram feitas cinco medições do tempo de resposta e da constante de tempo dos Pares E-D, e registraram-se dados para reconstruir a curva do tempo de resposta dos Pares E-D, tanto na elevação do sinal como na queda do sinal porque os tempos de resposta são diferentes.

Para o calculo da incerteza, considerou-se a incerteza tipo A e a incerteza tipo B. As fontes de incerteza consideradas foram do instrumento de medição (osciloscópio) e da resolução da escala utilizada.

Os cálculos da Incerteza do Tempo de resposta e da constante de tempo dos Pares E-D encontram-se no apêndice 11.2

6.1.1. Tempo de resposta do Par E-D 1

Os dados correspondentes ao Tempo de resposta e a Constante de tempo do Par E-D 1 na elevação do sinal pode-se observar na figura 32 e na tabela 5, e os dados na queda do sinal apresentam-se na figura 33 e na tabela 6

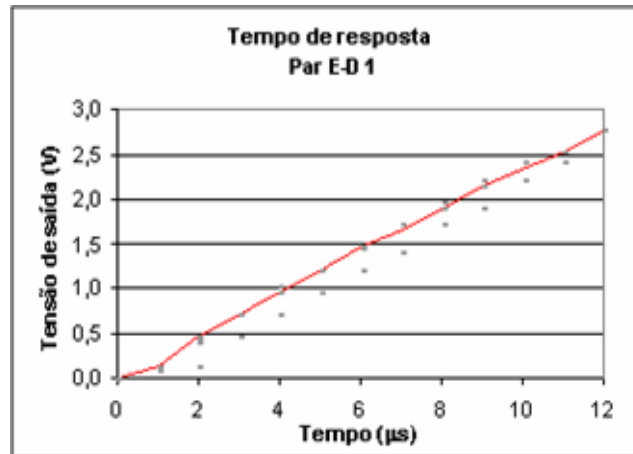


Figura 32- Curva do tempo de resposta Par E-D 1

Tabela 5- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 1

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	0,141	0,143	0,081	0,081	0,143	0,118
2,0	0,391	0,441	0,144	0,465	0,456	0,379
3,0	0,703	0,706	0,465	0,706	0,706	0,657
4,0	0,953	1,019	0,706	0,956	0,956	0,918
5,0	1,203	1,206	0,956	1,206	1,206	1,155
6,0	1,453	1,456	1,206	1,456	1,456	1,405
7,0	1,703	1,706	1,394	1,706	1,644	1,631
8,0	1,891	1,956	1,706	1,956	1,894	1,881
9,0	2,141	2,206	1,894	2,206	2,144	2,118
10,0	2,391	2,394	2,206	2,394	2,331	2,343
11,0	2,516	2,519	2,394	2,519	2,519	2,493
12,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750

Tempo de resposta	11,2	11,3	11,2	11,2	11,1	11,2 \pm 0,1 μs
Constante de tempo	7,4	7,2	7,4	7,4	7,3	7,3 \pm 0,1 μs

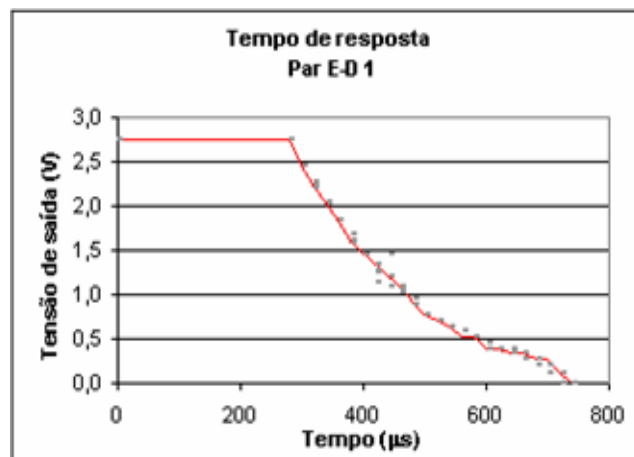


Figura 33- Curva do tempo de resposta Par E-D 1

Tabela 6- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 1

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					Média
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	
0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
280	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
300	2,456	2,456	2,456	2,456	2,441	2,453
320	2,237	2,253	2,284	2,206	2,222	2,241
340	2,034	2,050	2,019	2,019	2,019	2,027
360	1,831	1,831	1,831	1,831	1,847	1,835
380	1,597	1,613	1,675	1,581	1,597	1,613
400	1,456	1,456	1,456	1,456	1,456	1,456
420	1,253	1,331	1,135	1,269	1,331	1,264
440	1,081	1,206	1,444	1,097	1,206	1,207
460	1,019	1,081	1,081	1,066	1,081	1,066
480	0,894	0,956	0,894	0,894	0,909	0,909
500	0,769	0,784	0,769	0,769	0,769	0,772
520	0,706	0,706	0,706	0,706	0,706	0,706
540	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644
560	0,581	0,597	0,581	0,581	0,534	0,575
580	0,519	0,519	0,519	0,534	0,534	0,525
600	0,456	0,394	0,456	0,394	0,394	0,419
620	0,394	0,394	0,394	0,394	0,394	0,394
640	0,331	0,331	0,347	0,394	0,331	0,347
660	0,284	0,331	0,269	0,331	0,331	0,309
680	0,206	0,269	0,206	0,269	0,284	0,247
700	0,106	0,206	0,106	0,206	0,284	0,182
720	0,000	0,106	0,000	0,106	0,106	0,064
740	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tempo de resposta	720	730	720	736	738	729± 8μs
Constante de tempo	460	466	462	456	462	461± 5μs

Na elevação do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi 11,2μs e o desvio padrão da média foi 0,031μs. Utilizando o fator de abrangência $k_p = 2$, a incerteza de medição para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi 11,2± 0,1μs.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de 7,3μs e o desvio padrão da média foi de 0,040μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi 7,3± 0,1μs.

Na queda do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi 729μs e o desvio padrão da média foi 4μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi 729± 8μs. Observou-se que o fotodetector demorou 280μs para começar a responder.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de 461μs e o desvio padrão da média foi 2μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi 461± 5μs.

Devido que o Par E-D 1 apresentou um tempo de resposta muito grande, descartou-se a possibilidade de utilizá-lo posteriormente e não se fez mais nenhum teste neste Par E-D.

6.1.2. Tempo de resposta do Par E-D 2

Os dados correspondentes ao Tempo de resposta e a Constante de tempo do Par E-D 2 na elevação do sinal pode-se observar na figura 34 e na tabela 7, e os dados na queda do sinal apresentam-se na figura 35 e na tabela 8

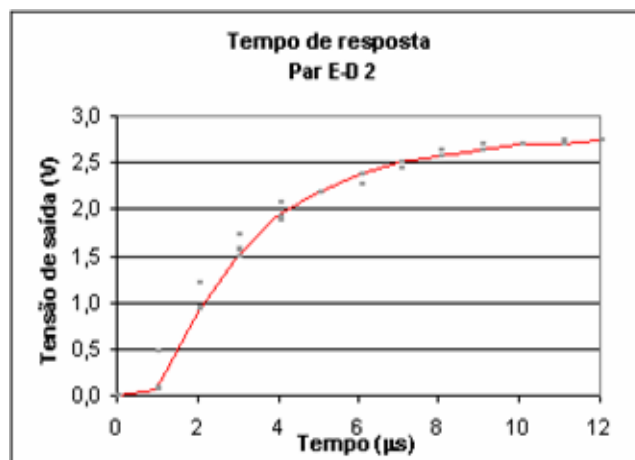


Figura 34- Curva do tempo de resposta Par E-D 2

Tabela 7- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 2

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					Média
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	0,078	0,062	0,062	0,469	0,062	0,147
2,0	0,922	0,953	0,922	1,219	0,875	0,978
3,0	1,547	1,578	1,484	1,734	1,500	1,569
4,0	1,875	1,922	1,922	2,062	1,938	1,944
5,0	2,178	2,188	2,172	2,188	2,188	2,183
6,0	2,375	2,375	2,275	2,375	2,375	2,355
7,0	2,500	2,500	2,438	2,500	2,500	2,488
8,0	2,562	2,625	2,562	2,562	2,562	2,575
9,0	2,625	2,688	2,625	2,688	2,625	2,650
10,0	2,688	2,688	2,688	2,688	2,688	2,688
11,0	2,688	2,750	2,750	2,688	2,688	2,713
12,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750

Tempo de resposta	11,3	10,8	11,0	11,4	11,8	11,3\pm 1,2μs
Constante de tempo	3,6	3,3	3,5	3,3	3,6	3,5\pm 0,3μs

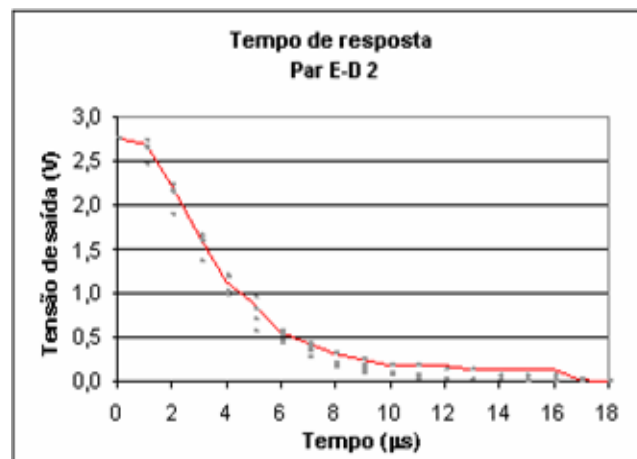


Figura 35- Curva do tempo de resposta Par E-D 2

Tabela 8- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 2

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					Média
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	
0,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
1,0	2,641	2,469	2,734	2,672	2,688	2,641
2,0	2,141	1,891	2,234	2,172	2,205	2,129
3,0	1,578	1,344	1,656	1,594	1,625	1,559
4,0	1,016	0,969	1,188	1,172	1,138	1,097
5,0	0,703	0,956	0,562	0,812	0,875	0,782
6,0	0,516	0,441	0,438	0,562	0,562	0,504
7,0	0,328	0,281	0,438	0,375	0,438	0,372
8,0	0,203	0,156	0,312	0,312	0,312	0,259
9,0	0,141	0,094	0,250	0,188	0,250	0,185
10,0	0,078	0,094	0,188	0,188	0,188	0,147
11,0	0,078	0,031	0,188	0,188	0,188	0,135
12,0	0,016	0,031	0,125	0,125	0,188	0,097
13,0	0,016	0,031	0,125	0,125	0,125	0,084
14,0	0,016	0,031	0,062	0,016	0,125	0,050
15,0	0,016	0,031	0,062	0,000	0,125	0,047
16,0	0,016	0,016	0,062	0,000	0,125	0,044
17,0	0,000	0,016	0,000	0,000	0,016	0,006
18,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tempo de resposta	16,8	18,0	16,8	14,4	17,4	16,7± 1,2μs
Constante de tempo	4,0	3,7	4,5	4,3	4,5	4,2± 0,3μs

Na elevação do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi $11,3\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi $0,1\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi $11,3 \pm 1,2\mu\text{s}$.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de $3,5\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi de $0,04\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi $3,5 \pm 0,3\mu\text{s}$.

Na queda do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi $16,7\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi $0,1\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi $16,7 \pm 1,2\mu\text{s}$.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de $4,2\mu\text{s}$ e o desvio padrão foi de $0,01\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi $4,2 \pm 0,3\mu\text{s}$.

**6.1.3.
Tempo de resposta do Par E-D 3**

Os dados correspondentes ao Tempo de resposta e a Constante de tempo do Par E-D 3 na elevação do sinal pode-se observar na figura 36 e na tabela 9, e os dados na queda do sinal apresentam-se na figura 37 e na tabela 10

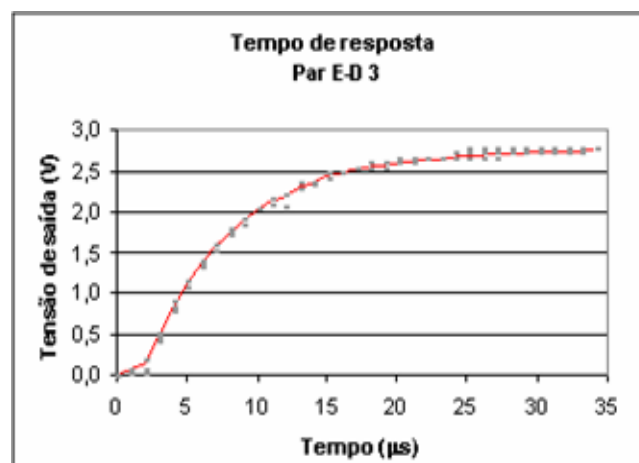


Figura 36- Curva do tempo de resposta Par E-D 3

Tabela 9- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 3

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	0,062	0,081	0,019	0,081	0,081	0,065
2,0	0,203	0,206	0,081	0,206	0,021	0,143
3,0	0,453	0,519	0,425	0,519	0,425	0,468
4,0	0,828	0,894	0,831	0,831	0,769	0,831
5,0	1,078	1,081	1,081	1,144	1,081	1,093
6,0	1,328	1,394	1,394	1,347	1,331	1,359
7,0	1,578	1,581	1,519	1,581	1,581	1,568
8,0	1,766	1,769	1,706	1,706	1,706	1,731
9,0	1,891	1,894	1,831	1,894	1,894	1,881
10,0	2,016	2,019	2,019	2,019	2,019	2,018
11,0	2,078	2,144	2,144	2,144	2,144	2,131
12,0	2,203	2,060	2,206	2,206	2,206	2,176
13,0	2,266	2,331	2,269	2,269	2,331	2,293
14,0	2,328	2,331	2,331	2,331	2,331	2,330
15,0	2,453	2,456	2,456	2,456	2,394	2,443
16,0	2,453	2,456	2,456	2,456	2,456	2,455
17,0	2,516	2,519	2,519	2,519	2,519	2,518
18,0	2,516	2,581	2,519	2,581	2,519	2,543
19,0	2,578	2,581	2,519	2,581	2,519	2,556
20,0	2,578	2,644	2,581	2,581	2,581	2,593
21,0	2,578	2,644	2,581	2,581	2,644	2,606
22,0	2,641	2,644	2,644	2,644	2,644	2,643
23,0	2,641	2,644	2,644	2,644	2,644	2,643
24,0	2,641	2,644	2,706	2,644	2,644	2,656
25,0	2,750	2,644	2,706	2,644	2,644	2,678
26,0	2,750	2,644	2,706	2,706	2,644	2,690
27,0	2,750	2,706	2,706	2,706	2,644	2,702
28,0	2,750	2,706	2,706	2,706	2,706	2,715
29,0	2,750	2,706	2,706	2,706	2,706	2,715
30,0	2,750	2,750	2,706	2,706	2,706	2,724
31,0	2,750	2,750	2,706	2,706	2,706	2,724
32,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,706	2,741
33,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,706	2,741
34,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750

Tempo de resposta	24,6	30,0	32,0	31,5	33,1	30,2\pm3,0μs
Constante de tempo	8,0	6,1	8,0	8,1	8,1	7,7\pm 0,8μs

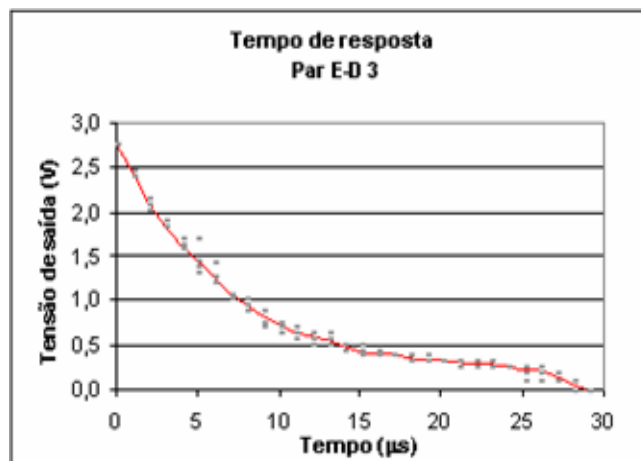


Figura 37- Curva do tempo de resposta Par E-D 3

Tabela 10- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 3

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					Média
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	
0	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,750
1	2,456	2,46	2,39	2,456	2,394	2,431
2	2,081	2,144	2,144	2,144	2,019	2,106
3	1,831	1,894	1,831	1,831	1,831	1,844
4	1,644	1,581	1,581	1,706	1,581	1,619
5	1,394	1,456	1,331	1,456	1,694	1,466
6	1,206	1,269	1,206	1,206	1,444	1,266
7	1,081	1,081	1,081	1,081	1,019	1,069
8	0,894	0,956	0,965	1,019	0,956	0,958
9	0,894	0,894	0,769	0,894	0,706	0,831
10	0,769	0,769	0,769	0,706	0,644	0,731
11	0,644	0,706	0,644	0,644	0,581	0,644
12	0,581	0,644	0,581	0,644	0,519	0,594
13	0,519	0,644	0,519	0,581	0,519	0,556
14	0,456	0,519	0,456	0,519	0,519	0,494
15	0,394	0,519	0,394	0,456	0,394	0,431
16	0,394	0,456	0,394	0,394	0,394	0,406
17	0,394	0,394	0,394	0,394	0,394	0,394
18	0,331	0,394	0,394	0,394	0,331	0,369
19	0,331	0,394	0,331	0,331	0,331	0,344
20	0,331	0,331	0,331	0,331	0,331	0,331
21	0,269	0,331	0,331	0,269	0,331	0,306
22	0,269	0,331	0,269	0,269	0,331	0,294
23	0,269	0,269	0,269	0,269	0,331	0,281
24	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269
25	0,206	0,269	0,120	0,206	0,269	0,214
26	0,206	0,269	0,120	0,206	0,269	0,214
27	0,120	0,206	0,120	0,120	0,206	0,154
28	0,120	0,120	0,000	0,000	0,120	0,072
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tempo de resposta	28,7	28,5	27,1	27,9	28,1	28,1±0,6μs
Constante de tempo	7,4	7,9	7,6	8,3	7,8	7,8±0,4μs

Na elevação do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi 30,2μs e o desvio padrão da média foi 0,1μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi 30,2±3,0μs.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de 7,7μs e o desvio padrão da média foi de 0,1μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi 7,7± 0,8μs.

Na queda do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi 28,1μs e o desvio padrão da média foi 0,05μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi 28,1± 0,6μs.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de 7,8μs e o desvio padrão da média foi de 0,1μs. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi 7,8± 0,4μs.

6.1.4. Tempo de resposta do Par E-D 4

Os dados correspondentes ao Tempo de resposta e a Constante de tempo do Par E-D 4 na elevação do sinal pode-se observar na figura 38 e na tabela 11, e os dados na queda do sinal apresentam-se na figura 39 e na tabela 12

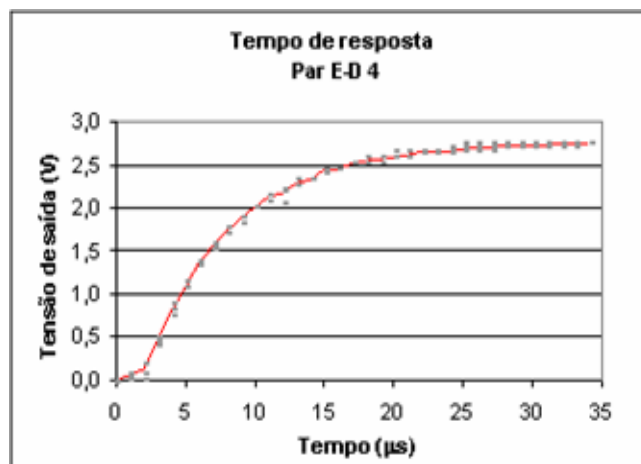


Figura 38- Curva do tempo de resposta Par E-D 4

Tabela 11- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 4

88,Tempo μs	Tensão de Saída (V)					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	0,047	0,050	0,053	0,053	0,053	0,051
2,0	0,453	0,269	0,491	0,366	0,303	0,376
3,0	1,031	0,862	1,053	0,928	0,991	0,973
4,0	1,484	1,363	1,553	1,428	1,428	1,451
5,0	1,797	1,722	1,866	1,803	1,741	1,786
6,0	2,047	1,987	2,053	1,991	1,991	2,014
7,0	2,234	2,175	2,241	2,178	2,241	2,214
8,0	2,359	2,300	2,366	2,303	2,363	2,338
9,0	2,484	2,435	2,428	2,428	2,428	2,441
10,0	2,484	2,487	2,491	2,491	2,491	2,489
11,0	2,547	2,550	2,616	2,553	2,553	2,564
12,0	2,609	2,612	2,616	2,597	2,616	2,610
13,0	2,672	2,675	2,678	2,659	2,616	2,660
14,0	2,672	2,675	2,678	2,659	2,678	2,672
15,0	2,672	2,675	2,678	2,659	2,678	2,672
16,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750

Tempo de resposta	15,8	15,4	15,3	15,7	15,8	15,6\pm0,3μs
Constante de tempo	4,8	5,1	4,6	4,9	4,9	4,9\pm0,2μs

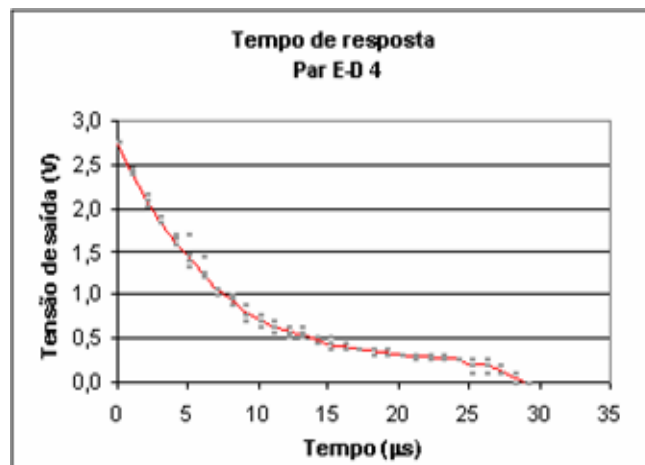


Figura 39- Curva do tempo de resposta Par E-D 4

Tabela 12- Tempo de resposta e constante de tempo do Par E-D 4

Tempo μs	Tensão de Saída (V)					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média
0,0	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
1,0	2,406	2,553	2,203	2,459	2,538	2,432
2,0	1,859	1,991	1,866	1,959	1,959	1,927
3,0	1,438	1,553	1,428	1,606	1,538	1,513
4,0	1,109	1,178	1,116	1,178	1,178	1,152
5,0	0,859	0,928	0,859	0,928	0,928	0,900
6,0	0,671	0,741	0,678	0,741	0,740	0,714
7,0	0,547	0,616	0,553	0,553	0,553	0,564
8,0	0,484	0,491	0,491	0,491	0,490	0,489
9,0	0,359	0,428	0,366	0,366	0,365	0,377
10,0	0,359	0,365	0,366	0,303	0,365	0,352
11,0	0,297	0,303	0,303	0,303	0,303	0,302
12,0	0,234	0,303	0,241	0,303	0,241	0,264
13,0	0,178	0,241	0,241	0,241	0,241	0,228
14,0	0,178	0,178	0,241	0,178	0,178	0,191
15,0	0,106	0,106	0,106	0,106	0,178	0,120
16,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tempo de Resposta	15,8	15,4	15,3	15,7	15,8	15,6\pm0,2μs
Constante de Tempo	4,8	5,1	4,6	4,9	4,9	4,9\pm0,2μs

Na elevação do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi $15,6\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi $0,1\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi $15,6 \pm 0,2\mu\text{s}$.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de $4,9\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi de $0,04\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi $4,9 \pm 0,2\mu\text{s}$.

Na queda do sinal:

A média de cinco medições do tempo de resposta foi $15,6\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi $0,05\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para o Tempo de resposta foi $15,6 \pm 0,3\mu\text{s}$.

A média de cinco medições da constante de tempo foi de $4,9\mu\text{s}$ e o desvio padrão da média foi de $0,06\mu\text{s}$. A incerteza calculada para um intervalo de confiança de 95% para a constante de tempo foi $7,8 \pm 0,2\mu\text{s}$.

6.2. Estabilidade do Tempo de resposta dos Pares E-D em relação à Temperatura

Para conhecer a estabilidade do tempo de resposta dos Pares E-D em relação à temperatura, foram feitas oito medições do Tempo de resposta à 20°, 25° e 30°C. Utilizou-se o Teste t para avaliar se existe diferença significativa entre as médias dos dados a diferentes temperaturas.

Avaliaram-se individualmente os Pares E-D em um ambiente completamente escuro para evitar interferências de luz entre eles e da luz do ambiente. Não se testou o Par E-D 1 porque foi descartado devido a apresentar tempo de resposta muito grande.

O sinal de saída dos fotodetectores foi de 2,250V. O LED foi alimentado pelo gerador de funções.

6.2.1. Estabilidade do Tempo de resposta do Par E-D 2

Tabela 13- Tempo de resposta do Par E-D 2 a 20°, 25° e 30°C

	Temperatura = 20°C		Temperatura = 25°C		Temperatura = 30°C	
	Tempo (ms)		Tempo (ms)		Tempo (ms)	
	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do sinal	Queda do sinal
	8,9	11,4	8,4	7,9	9,5	9,7
	8,9	10,5	14,1	12,6	9,2	9,5
	8,5	10,1	14,7	12,7	10,0	9,2
	12,7	11,8	12,5	11,4	10,2	9,4
	9,4	11,2	8,9	13,6	8,9	10,2
	9,9	10,0	13,0	11,1	11,8	9,7
	10,3	13,3	12,4	14,1	8,4	10,1
	10,3	10,2	8,5	11,3	9,0	9,7
Média :	9,9	11,1	11,6	11,8	9,6	9,7
Desvio Padrão:	1,3	1,1	2,6	1,9	1,1	0,3

Utilizou-se o Teste-t para avaliar se existe diferença significativa entre duas médias. O valor de $t_{\text{crítico}}$ para um nível de confiança do 95%, e 14 graus de liberdade (n_1+n_2-2), $t_c=1,76$, experimentalmente obteve-se, na elevação do sinal $t_{\text{exp}}=0,49$ e na queda do sinal $t_{\text{exp}}=0,78$, sendo $t_{\text{exp}} \leq t_c$, não há razão para acreditar que exista diferença significativa entre as médias dos tempos de resposta do Par E-D 2 nas temperaturas de 20°, 25° e 30°C.

6.2.2. Estabilidade do Tempo de resposta do Par E-D 3

Tabela 14- Tempo de resposta do Par E-D 3 a 20°, 25° e 30°C

	Temperatura = 20°C		Temperatura = 25°C		Temperatura = 30°C	
	Tempo (ms)		Tempo (ms)		Tempo (ms)	
	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do do sinal	Queda do sinal
	25,5	32,0	27,0	32,9	24,4	29,7
	29,0	35,1	26,2	30,3	23,5	31,9
	27,0	27,4	29,3	25,3	27,7	27,2
	27,2	32,9	26,6	31,4	25,8	35,0
	22,7	28,8	26,7	31,7	27,8	27,8
	23,5	33,9	27,4	31,0	22,5	29,3
	23,4	32,7	24,7	32,4	23,3	31,1
	26,0	28,8	25,2	30,0	23,1	30,7
Média:	25,5	31,5	26,6	30,6	24,8	30,3
Desvio padrão:	2,2	2,8	1,4	2,4	2,1	2,5

Utilizou-se o Teste-t para avaliar se existe diferença significativa entre duas médias. O valor de $t_{\text{crítico}}$ para um nível de confiança do 95%, e 14 graus de liberdade (n_1+n_2-2), $t_c=1,76$, experimentalmente obteve-se, na elevação do sinal $t_{\text{exp}}= 0,53$ e na queda do sinal $t_{\text{exp}}=0,21$, sendo $t_{\text{exp}} \leq t_c$, não há razão para acreditar que exista diferença significativa entre as médias dos tempos de resposta do Par E-D 3 nas temperaturas de 20°, 25° e 30°C.

6.2.3. Estabilidade do Tempo de resposta do Par E-D 4

Tabela 15- Tempo de resposta do Par E-D 4 a 20°, 25° e 30°C

	Tempo (µs)		Tempo (µs)		Tempo (µs)	
	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do sinal	Queda do sinal	Elevação do sinal	Queda do sinal
	14,9	16,1	12,5	15,1	14,9	12,8
	16,7	16,5	14,9	15,6	15,7	13,6
	15,2	17,1	14,4	16,0	14,0	14,0
	15,3	15,4	14,3	16,7	13,9	15,5
	17,9	17,1	14,7	15,5	12,7	16,2
	17,7	14,8	13,7	19,6	16,6	15,4
	18,6	15,0	12,7	14,5	17,5	15,2
	16,4	15,2	14,0	13,0	17,5	15,9
Média:	16,6	15,9	13,9	15,8	15,4	14,8
Desvio padrão:	1,4	0,9	0,9	1,9	1,8	1,2

Utilizou-se o Teste-t para avaliar se existe diferença significativa entre duas médias. O valor de t_{critico} para um nível de confiança do 95%, e 14 graus de liberdade (n_1+n_2-2), $t_c=1,76$, experimentalmente obteve-se, na elevação do sinal $t_{\text{exp}}= 1,15$ e na queda do sinal $t_{\text{exp}}=0,29$, sendo $t_{\text{exp}} \leq t_c$, não há razão para acreditar que exista diferença significativa entre as médias dos tempos de resposta do Par E-D 3 nas temperaturas de 20°, 25° e 30°C.

6.3. Variação do sinal de saída do Fotodetector

O sinal de saída do fotodetector está em função da luz que incide sobre o mesmo. Então, avaliou-se o sinal de saída do fotodetector em função da potencia incidente, sabendo que $P = IV$, variou-se a intensidade de corrente e a tensão de alimentação fornecida ao LED.

Os testes foram feitos dentro das faixas de tensão e intensidade de corrente recomendada pelo fabricante para não causar prejuízo no LED. Variou-se a intensidade de corrente de 25 a 40mA e a tensão de alimentação de 2-2,5V.

Os testes foram feitos nos oito Pares E-D instalados na maquete. A temperatura de trabalho foi de 24,8°C. Os dados foram registrados pelo programa de aquisição. Todos os testes foram feitos em um ambiente escuro.

Apresenta-se nas tabelas a média de 10000 dados dos sinais de saída dos Pares E-D 2 e dos Pares E-D 4, apresenta-se e os gráficos foram feitos para cada tipo de Par E-D.

Tabela 16- Sinal de saída do fotodetector. $T_{\text{alimentação}}$ no LED 2,001V

Intensidade de corrente (mA)	Par E-D 2 (0)	Par E-D 2 (1)	Par E-D 2 (2)	Par E-D 2 (3)	Par E-D 4 (4)	Par E-D 4 (5)	Par E-D 4 (6)	Par E-D 4 (7)
25,250	2,090478	1,872635	1,882801	1,973893	2,277458	2,606028	1,734814	1,955507
26,250	2,176514	1,950684	1,962891	2,055664	2,351074	2,689209	1,796875	2,025147
27,500	2,250104	2,017832	2,031371	2,129130	2,415035	2,754472	1,850456	2,085536
28,750	2,356079	2,116066	2,132814	2,238847	2,509060	2,856306	1,930750	2,175235
30,000	2,431217	2,185215	2,203293	2,313220	2,573108	2,925405	1,986268	2,239138
31,250	2,524368	2,268477	2,293908	2,406166	2,647836	3,008249	2,055290	2,318271
32,500	2,604546	2,341465	2,371953	2,486244	2,720798	3,089394	2,118199	2,389769
33,750	2,694398	2,426219	2,459335	2,577656	2,799898	3,176478	2,187981	2,468982
35,000	2,787713	2,511292	2,549578	2,674192	2,886404	3,268991	2,261311	2,552380
36,250	2,855737	2,575626	2,615459	2,746393	2,931430	3,317271	2,308267	2,606986
37,500	2,955415	2,668881	2,713724	2,850707	3,031082	3,425789	2,390793	2,703450
38,750	3,020235	2,735217	2,779869	2,923834	3,070093	3,466146	2,435048	2,756678
40,000	3,092199	2,803422	2,852567	3,001833	3,136123	3,535999	2,492462	2,823113

Tabela 17- Sinal de saída do fotodetector. T_{alimentação} no LED 2,502V

Intensidade de corrente	Par E-D 2 (0)	Par E-D 2 (1)	Par E-D 2 (2)	Par E-D 2 (3)	Par E-D 4 (4)	Par E-D 4 (5)	Par E-D 4 (6)	Par E-D 4 (7)
25,250	2,081644	1,865618	1,876531	1,975564	2,269749	2,549358	1,704438	1,949900
26,250	2,157922	1,935133	1,947080	2,050743	2,332111	2,616535	1,756627	2,009135
27,500	2,270946	2,036953	2,053428	2,164002	2,433857	2,727208	1,842224	2,106405
28,750	2,352915	2,111986	2,131502	2,247157	2,505676	2,803535	1,903644	2,176688
30,000	2,431209	2,183085	2,205217	2,326202	2,572110	2,875284	1,961544	2,243833
31,250	2,536284	2,280152	2,305752	2,432069	2,658612	2,969230	2,040252	2,336238
32,500	2,600243	2,339704	2,368016	2,498017	2,710816	3,026614	2,088671	2,393380
33,750	2,679080	2,413440	2,444971	2,579220	2,775426	3,097833	2,148466	2,463533
35,000	2,754826	2,483281	2,518649	2,656094	2,834811	3,161633	2,205475	2,530864
36,250	2,852955	2,573790	2,615670	2,758388	2,916073	3,248856	2,280029	2,618324
37,500	2,910687	2,631215	2,674343	2,819969	2,965234	3,294986	2,324523	2,671237
38,750	2,987372	2,704515	2,751218	2,899044	3,026251	3,358215	2,382695	2,741458
40,000	3,053016	2,768001	2,817582	2,967582	3,074073	3,411304	2,433277	2,801703

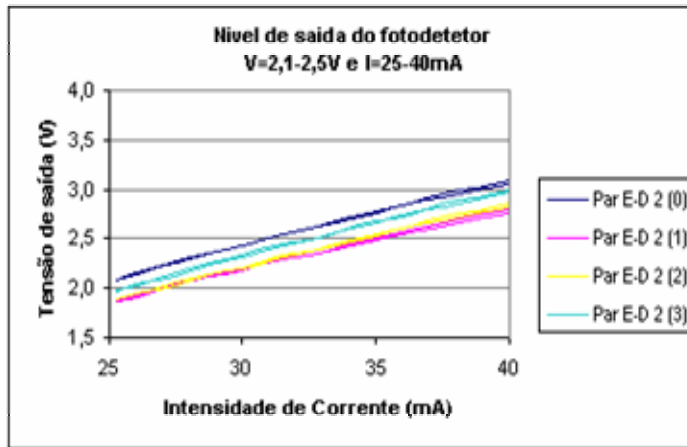


Figura 40- Nível de saída do fotodetector, variando V e I no LED (Pares E-D 2)

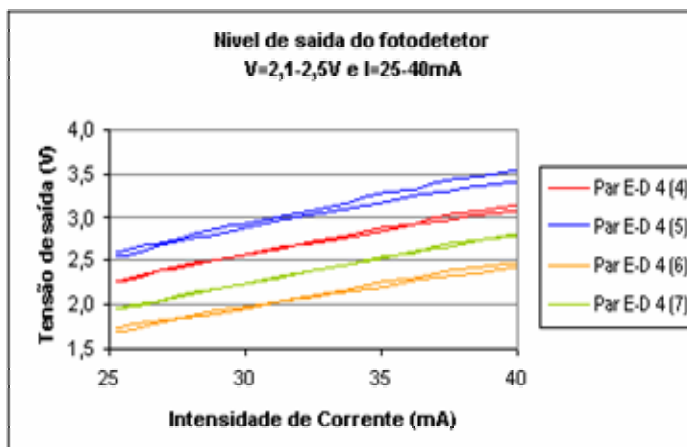


Figura 41- Nível de saída do fotodetector, variando V e I no LED (Pares E-D 4)

Segundo os gráficos 40 e 41 pode-se se observar que a variação na intensidade de corrente no LED influencia no sinal de saída do fotodetector, no entanto, a variação da tensão de alimentação não influencia significativamente.

6.4. Nível de ruído

Utilizando a placa Protoboard o nível de ruído era grande, porque qualquer manuseio dos cabos provocava uma alteração considerável no nível de saída do fotodetector, por isso consideramos conveniente trocar a placa protoboard por um circuito impresso.

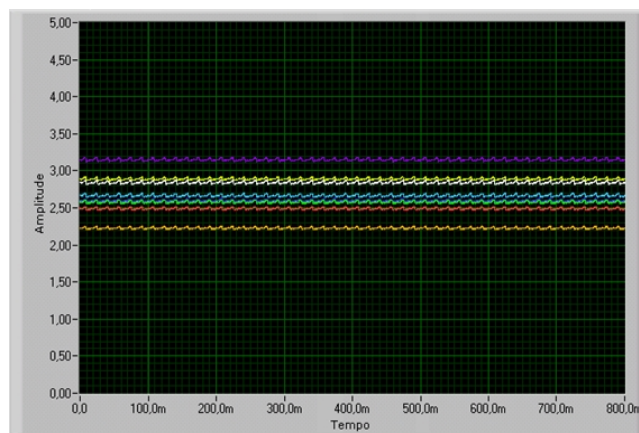


Figura 42- Máximo nível de ruído encontrado.

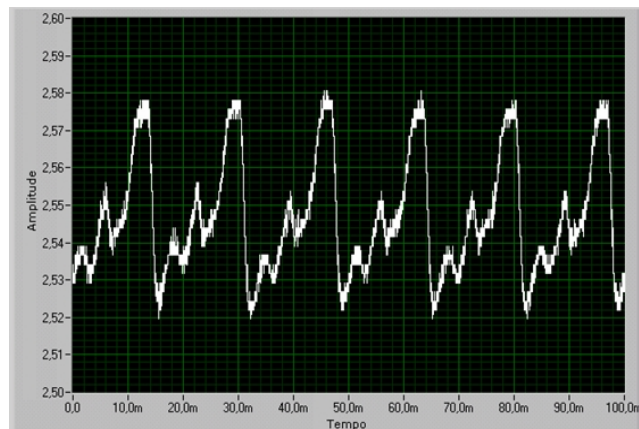


Figura 43- Ampliação do nível máximo de ruído.

Trabalhando com o circuito impresso, a máxima relação sinal/ruído foi de 2,550V/0,060V, aproximadamente 2,4% do sinal. Pode-se observar claramente que o ruído tem uma frequência de 60Hz, ruído inerente na rede elétrica.

Os dados foram registrados utilizando nosso programa de aquisição no LabVIEW.

A mínima relação sinal/ruído foi de 3,242V/0,020V, aproximadamente 0,6% do sinal. Os níveis de trabalho para obter mínimo ruído apresentam-se na tabela:

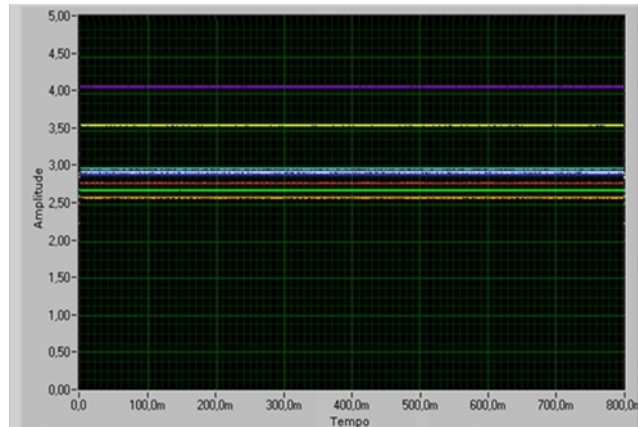


Figura 44- Mínimo nível de ruído encontrado.

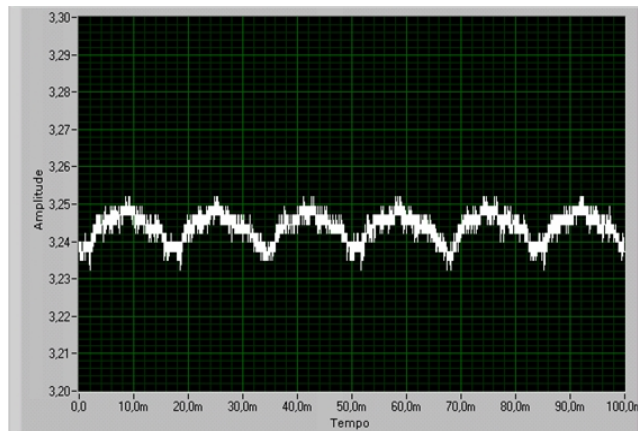


Figura 45- Ampliação do nível mínimo de ruído.

6.5. Simulação de contaminação ambiental

Para testar o funcionamento dos Pares E-D, jogou-se fumaça sobre a maquete utilizando uma máquina geradora de fumaça. Os dados foram registrados por nosso programa feito no software LabVIEW. Obtiveram-se os seguintes resultados:

6.5.1. Utilizando os Pares E-D 2

Utilizando nosso programa desenvolvido no software LabVIEW, selecionaram-se para adquirir os sinais gerados pelos Pares E-D 2 (0), Pares E-D 2 (1), Pares E-D 2 (2) e Pares E-D 2 (3). Uma parte da base de dados registrada pelo software pode-se observar na tabela 17.

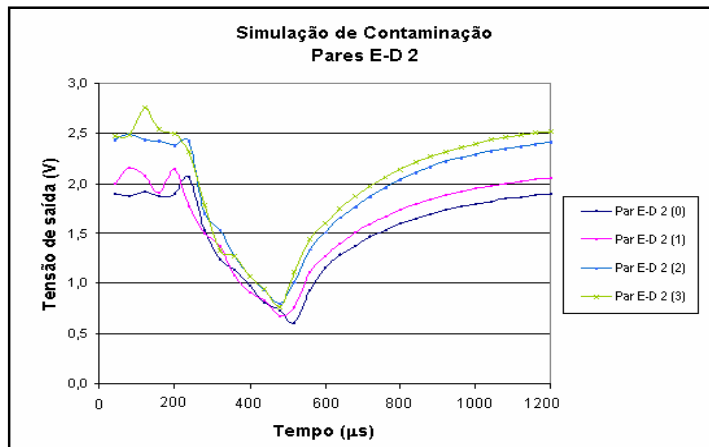


Figura 46- Resposta dos Pares E-D 2 na simulação de contaminação.

6.5.2. Utilizando os Pares E-D 4

Utilizando nosso programa desenvolvido no software LabVIEW, selecionaram-se para adquirir os sinais gerados pelos Pares E-D 4 (4), Pares E-D 4 (5), Pares E-D 4 (6) e Pares E-D 4 (7). Uma parte da base de dados registrada pelo software pode-se observar na tabela 18.

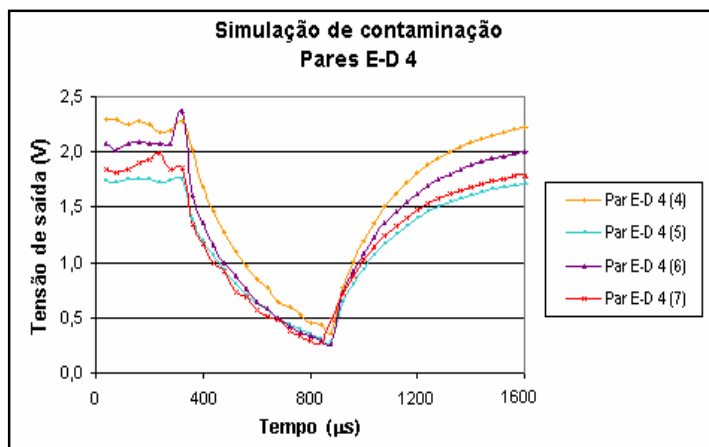


Figura 47- Resposta dos Pares E-D 4 na simulação de contaminação.

6.5.3. Utilizando os Pares E-D 2 e Pares E-D 4

Utilizando nosso programa desenvolvido no software LabVIEW, selecionaram-se para adquirir os sinais gerados por todos os Pares E-D, Par E-D 2 (0), Par E-D 2 (1), Par E-D 2 (2) e Par E-D 2 (3) Par E-D 4 (4), Par E-D 4 (5), Par E-D 4 (6) e Par E-D 4 (7). Uma parte da base de dados registrada pelo software pode-se observar na tabela 19.

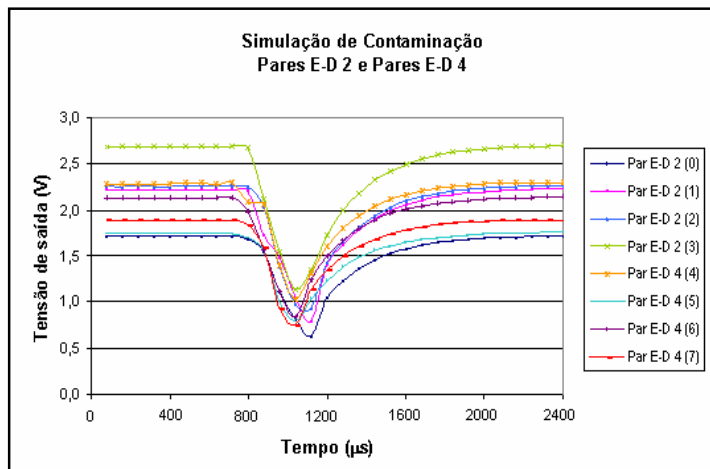


Figura 48- Resposta dos Pares E-D 2 e Pares E-D 4 na simulação de contaminação.

Os dados colhidos mostram que os Pares Emissores-Detectores 2 e 4 possuem capacidade de capturar as variações de concentração dos poluentes que atravessa o feixe luminoso entre emissor e detector.

Pode-se observar nas figuras de simulação que para um tempo $t = 0$, na qual não foi jogada fumaça nenhuma sobre a maquete, o sinal de saída é máximo porque não existe nenhuma atenuação do feixe de luz. No momento que a fumaça foi jogada sobre a maquete, se apresenta uma queda no sinal proporcional à concentração da fumaça. Quando a fumaça começa a se dispersar, o nível do sinal de saída incrementa-se.

Dados registrados pelo programa no software LabVIEW, correspondentes aos Pares E-D 2, Figura 46.

Tabela 18- Dados da simulação de contaminação. Pares E-D 2

waveform	[0]	[1]	[2]	[3]
delta t	0,000040	0,000040	0,000040	0,000040
Time	Y[0]	Y[1]	Y[2]	Y[3]
31/01/03 15:40:04.670314	1,916504	2,075195	2,436523	2,539062
31/01/03 15:40:04.670354	1,914062	2,072754	2,438965	2,536621
31/01/03 15:40:04.670394	1,916504	2,075195	2,436523	2,543945
31/01/03 15:40:04.670434	1,911621	2,075195	2,456055	2,529297
31/01/03 15:40:04.670475	1,909180	2,070312	2,434082	2,526855
31/01/03 15:40:04.670515	1,914062	2,070312	2,436523	2,607422
31/01/03 15:40:04.670555	1,899414	1,997070	2,438965	2,468262
31/01/03 15:40:04.670595	1,875000	2,158203	2,492676	2,485352
31/01/03 15:40:04.670635	1,914062	2,075195	2,441406	2,751465
31/01/03 15:40:04.670675	1,867676	1,906738	2,429199	2,534180
31/01/03 15:40:04.670715	1,896973	2,138672	2,377930	2,495117
31/01/03 15:40:04.670755	2,060547	1,772461	2,429199	2,309570
31/01/03 15:40:04.670795	1,528320	1,501465	1,704102	1,777344
31/01/03 15:40:04.670835	1,242676	1,372070	1,530762	1,328125
31/01/03 15:40:04.670875	1,135254	1,079102	1,274414	1,271973
31/01/03 15:40:04.670915	0,979004	0,913086	1,074219	1,069336
31/01/03 15:40:04.670955	0,812988	0,834961	0,932617	0,947266
31/01/03 15:40:04.670995	0,729981	0,676270	0,800781	0,766602
31/01/03 15:40:04.671035	0,612793	0,761719	1,013184	1,118164
31/01/03 15:40:04.671075	0,939941	1,120605	1,342773	1,440430
31/01/03 15:40:04.671115	1,164551	1,274414	1,513672	1,606445
31/01/03 15:40:04.671155	1,281738	1,401367	1,655273	1,752930
31/01/03 15:40:04.671195	1,379395	1,506348	1,774902	1,875000
31/01/03 15:40:04.671236	1,464844	1,594238	1,877441	1,975098
31/01/03 15:40:04.671276	1,538086	1,672363	1,967773	2,065430
31/01/03 15:40:04.671316	1,601562	1,735840	2,043457	2,143555
31/01/03 15:40:04.671356	1,650391	1,794434	2,106934	2,209473
31/01/03 15:40:04.671396	1,694336	1,843262	2,165527	2,268066
31/01/03 15:40:04.671436	1,735840	1,882324	2,216797	2,316895
31/01/03 15:40:04.671476	1,770020	1,918945	2,255859	2,358398
31/01/03 15:40:04.671516	1,796875	1,948242	2,294922	2,395020
31/01/03 15:40:04.671556	1,821289	1,977539	2,324219	2,431641
31/01/03 15:40:04.671596	1,845703	1,997070	2,351074	2,456055
31/01/03 15:40:04.671636	1,865234	2,016602	2,373047	2,480469
31/01/03 15:40:04.671676	1,882324	2,036133	2,395020	2,504883
31/01/03 15:40:04.671716	1,896973	2,050781	2,412109	2,519531
31/01/03 15:40:04.671756	1,906738	2,067871	2,426758	2,536621

Dados registrados pelo programa no software LabVIEW, correspondentes aos Pares E-D 4, Figura 47.

Tabela 19- Dados da simulação de contaminação. Pares E-D 4

waveform	[4]	[5]	[6]	[7]
delta t	0,000040	0,000040	0,000040	0,000040
Time	Y[4]	Y[5]	Y[6]	Y[7]
31/01/03 16:27:37.386909	2,299805	1,743164	2,080078	1,840820
31/01/03 16:27:37.386949	2,297363	1,723633	2,016602	1,809082
31/01/03 16:27:37.386989	2,253418	1,750488	2,080078	1,843262
31/01/03 16:27:37.387029	2,285156	1,752930	2,084961	1,904297
31/01/03 16:27:37.387069	2,250977	1,750488	2,077637	1,926270
31/01/03 16:27:37.387109	2,177734	1,728516	2,077637	1,989746
31/01/03 16:27:37.387149	2,199707	1,745605	2,077637	1,840820
31/01/03 16:27:37.387189	2,285156	1,748047	2,375488	1,853027
31/01/03 16:27:37.387229	2,016602	1,381836	1,611328	1,340332
31/01/03 16:27:37.387269	1,679687	1,206055	1,359863	1,164551
31/01/03 16:27:37.387309	1,467285	1,071777	1,159668	0,996094
31/01/03 16:27:37.387349	1,274414	0,939941	0,996094	0,920410
31/01/03 16:27:37.387389	1,093750	0,800781	0,878906	0,734863
31/01/03 16:27:37.387429	0,969238	0,700684	0,764160	0,683594
31/01/03 16:27:37.387469	0,852051	0,629883	0,646973	0,573731
31/01/03 16:27:37.387509	0,771484	0,563965	0,585938	0,512695
31/01/03 16:27:37.387549	0,649414	0,495606	0,500488	0,478516
31/01/03 16:27:37.387589	0,600586	0,441895	0,422363	0,380859
31/01/03 16:27:37.387629	0,522461	0,390625	0,368652	0,341797
31/01/03 16:27:37.387670	0,456543	0,349121	0,339356	0,292969
31/01/03 16:27:37.387710	0,432129	0,307617	0,290527	0,273438
31/01/03 16:27:37.387750	0,358887	0,278320	0,261231	0,476074
31/01/03 16:27:37.387790	0,773926	0,637207	0,727539	0,712891
31/01/03 16:27:37.387830	1,005859	0,803223	0,922852	0,874023
31/01/03 16:27:37.387870	1,198730	0,942383	1,086426	1,018066
31/01/03 16:27:37.387910	1,359863	1,064453	1,228027	1,135254
31/01/03 16:27:37.387950	1,501465	1,166992	1,352539	1,242676
31/01/03 16:27:37.387990	1,616211	1,254883	1,455078	1,330566
31/01/03 16:27:37.388030	1,723633	1,333008	1,550293	1,408691
31/01/03 16:27:37.388070	1,809082	1,401367	1,628418	1,474609
31/01/03 16:27:37.388110	1,887207	1,455078	1,699219	1,533203
31/01/03 16:27:37.388150	1,948242	1,503906	1,750488	1,582031
31/01/03 16:27:37.388190	2,006836	1,545410	1,801758	1,621094
31/01/03 16:27:37.388230	2,048340	1,579590	1,843262	1,657715
31/01/03 16:27:37.388270	2,092285	1,608887	1,882324	1,687012
31/01/03 16:27:37.388310	2,124023	1,635742	1,911621	1,716309
31/01/03 16:27:37.388350	2,155762	1,660156	1,940918	1,738281
31/01/03 16:27:37.388391	2,182617	1,677246	1,965332	1,760254
31/01/03 16:27:37.388431	2,204590	1,694336	1,984863	1,777344
31/01/03 16:27:37.388471	2,224121	1,708984	2,001953	1,789551
31/01/03 16:27:37.388511	2,238770	1,721191	2,009277	1,660156

Dados registrados pelo programa no software LabVIEW, correspondentes aos Pares E-D 2 e aos Pares E-D 4, figura 48.

Tabela 20- Dados da simulação de contaminação. Pares E-D 2 e Pares E-D 4

waveform	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
delta t	0,000080	0,000080	0,000080	0,000080	0,000080	0,000080	0,000080	0,000080
time	Y[0]	Y[1]	Y[2]	Y[3]	Y[0]	Y[1]	Y[2]	Y[3]
31/01/03 16:55:39.536868	1,713867	2,214355	2,253418	2,685547	2,280273	1,740723	2,126465	1,887207
31/01/03 16:55:39.536948	1,706543	2,216797	2,258301	2,687988	2,280273	1,738281	2,124023	1,889648
31/01/03 16:55:39.537028	1,708984	2,214355	2,255859	2,683105	2,282715	1,740723	2,128906	1,884766
31/01/03 16:55:39.537108	1,708984	2,216797	2,258301	2,685547	2,282715	1,738281	2,128906	1,887207
31/01/03 16:55:39.537189	1,708984	2,219238	2,255859	2,685547	2,285156	1,740723	2,126465	1,884766
31/01/03 16:55:39.537269	1,708984	2,219238	2,258301	2,685547	2,282715	1,740723	2,128906	1,884766
31/01/03 16:55:39.537349	1,708984	2,216797	2,255859	2,687988	2,285156	1,740723	2,126465	1,887207
31/01/03 16:55:39.537429	1,711426	2,219238	2,255859	2,685547	2,282715	1,743164	2,126465	1,887207
31/01/03 16:55:39.537509	1,708984	2,216797	2,263184	2,685547	2,287598	1,738281	2,128906	1,892090
31/01/03 16:55:39.537589	1,711426	2,216797	2,258301	2,685547	2,290039	1,740723	2,128906	1,887207
31/01/03 16:55:39.537669	1,706543	2,219238	2,258301	2,685547	2,285156	1,738281	2,131348	1,889648
31/01/03 16:55:39.537749	1,708984	2,216797	2,258301	2,687988	2,287598	1,740723	2,128906	1,892090
31/01/03 16:55:39.537829	1,682129	2,207031	2,246094	2,675781	2,077637	1,691895	1,987305	1,835937
31/01/03 16:55:39.537909	1,545410	1,728516	2,045898	2,109375	2,060547	1,557617	1,562500	1,586914
31/01/03 16:55:39.537990	1,105957	1,484375	1,379395	1,545410	1,398926	1,008301	1,103516	0,930176
31/01/03 16:55:39.538070	0,812988	1,057129	0,976563	1,140137	1,030273	0,791016	0,839844	0,744629
31/01/03 16:55:39.538150	0,622559	0,795898	0,930176	1,342773	1,323242	1,032715	1,240234	1,142578
31/01/03 16:55:39.538230	1,044922	1,406250	1,420898	1,730957	1,604004	1,235352	1,494141	1,352539
31/01/03 16:55:39.538310	1,228027	1,625977	1,645508	1,994629	1,796875	1,376953	1,667480	1,496582
31/01/03 16:55:39.538390	1,362305	1,791992	1,813965	2,180176	1,933594	1,481934	1,794434	1,606445
31/01/03 16:55:39.538470	1,455078	1,906738	1,938477	2,319336	2,036133	1,555176	1,887207	1,687012
31/01/03 16:55:39.538550	1,525879	1,994629	2,026367	2,419434	2,109375	1,608887	1,958008	1,743164
31/01/03 16:55:39.538630	1,577148	2,060547	2,094727	2,492676	2,160645	1,645508	2,006836	1,787109
31/01/03 16:55:39.538711	1,613770	2,106934	2,138672	2,546387	2,202148	1,677246	2,041016	1,816406
31/01/03 16:55:39.538791	1,643066	2,143555	2,175293	2,587891	2,229004	1,696777	2,072754	1,840820
31/01/03 16:55:39.538871	1,662598	2,165527	2,199707	2,619629	2,250977	1,713867	2,089844	1,855469
31/01/03 16:55:39.538951	1,679687	2,187500	2,221680	2,641602	2,265625	1,728516	2,104492	1,867676
31/01/03 16:55:39.539031	1,689453	2,197266	2,238770	2,656250	2,277832	1,733398	2,114258	1,879883
31/01/03 16:55:39.539111	1,699219	2,209473	2,246094	2,668457	2,287598	1,740723	2,124023	1,884766
31/01/03 16:55:39.539191	1,701660	2,219238	2,255859	2,678223	2,292480	1,743164	2,131348	1,889648
31/01/03 16:55:39.539271	1,708984	2,224121	2,260742	2,685547	2,297363	1,745605	2,133789	1,892090
31/01/03 16:55:39.539351	1,711426	2,229004	2,263184	2,687988	2,299805	1,750488	2,138672	1,896973
31/01/03 16:55:39.539432	1,711426	2,229004	2,268066	2,692871	2,302246	1,750488	2,138672	1,896973