

DIAGNÓSTICOS DE GASES EM ÓLEO ISOLANTE DE REGULADORES E TRANSFORMADORES

GAS DIAGNOSTICS IN INSULATING OIL OF REGULATORS AND TRANSFORMERS

I. IMAGENS DO ARTIGO

Tabela 1 - Dados coletados do TR1 e TR2

	TR1					TR2							
Data	set-19	jan-20	ago-20	jan-21	set-21	set-18	jan-19	set-19	fev-20	ago-20	jan-21	ago-21	abr-22
Hidrogênio (H2)	12	7	10	14	16	20	91	63	43	37	17	19	21
Oxigênio (O2)	3500	5100	2400	1500	15600	17700	12700	16000	10200	11200	13800	14200	11500
Nitrogênio (N2)	54900	44000	35600	47800	83000	83300	67600	77800	59100	69000	75700	75000	61800
Metano (CH4)	67	34	55	62	56	9	0	0	3	3	4	0	12
Monóxido de Carbono (CO)	235	191	207	209	213	291	327	357	360	525	576	514	395
Dióxido de Carbono (CO2)	2400	1500	4610	3860	3850	2030	2060	2460	1780	5340	3700	3940	3930
Etileno (C2H4)	4	3	5	4	5	19	16	17	10	25	20	24	26
Etano (C2H6)	119	57	171	161	162	14	26	12	12	24	21	44	26
Total de Gases	61237	50892	43058	53610	102902	103383	82820	96709	71508	86155	93898	93741	77710
Total de Gases Combustíveis	437	292	448	450	452	353	460	449	428	615	638	601	480

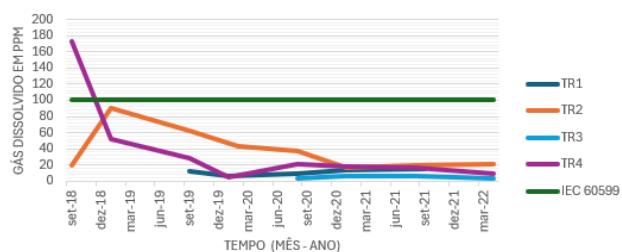
Fonte: Autores, 2024.

Tabela 2 - Dados coletados do TR3 e TR4

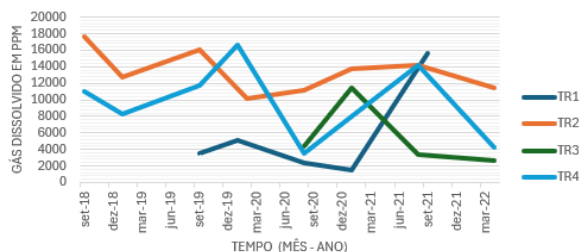
	TR3				TR4							
Data	ago-20	jan-21	ago-21	abr-22	set-18	jan-19	set-19	jan-20	ago-20	jan-21	ago-21	abr-22
Hidrogênio (H2)	3	7	6	4	173	52	28	5	21	18	17	9
Oxigênio (O2)	4400	11400	3300	2600	11000	8300	11700	16700	3500	8000	14200	4200
Nitrogênio (N2)	13100	36100	13200	12500	96100	79200	81100	73200	47200	87900	85900	60500
Metano (CH4)	0	0	0	0	58	27	20		15	20	9	25
Monóxido de Carbono (CO)	31	63	61	45	950	764	700	154	533	767	577	670
Dióxido de Carbono (CO2)	900	2440	1460	1080	6520	5390	5620	1520	10300	10830	5450	6780
Etileno (C2H4)	1	12	10	3	146	106	108	27	141	170	99	118
Etano (C2H6)	1	8	10	2	9	10	22	3	31	7	3	5
Acetileno (C2H2)	0	0	0	0	33	29	23	6	35	37	15	17
Total de Gases	18436	50030	18047	16234	114989	93878	99321	91615	61776	107749	106270	72324
Total de Gases Combustíveis	36	90	87	54	1369	988	901	195	776	1019	720	844

Fonte: Autores, 2024.

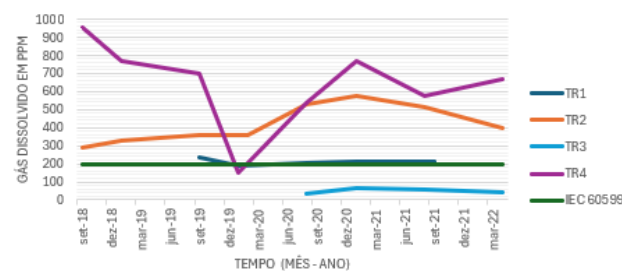
Figura 1 – Gráficos da concentração de gases em cada TR
Hidrogênio (H₂)



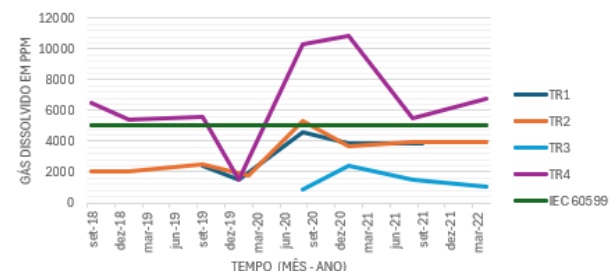
Oxigênio (O₂)



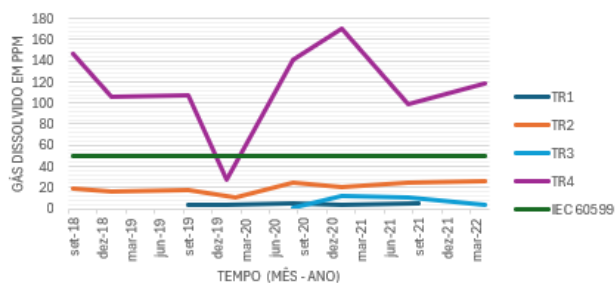
Monóxido de Carbono (CO)



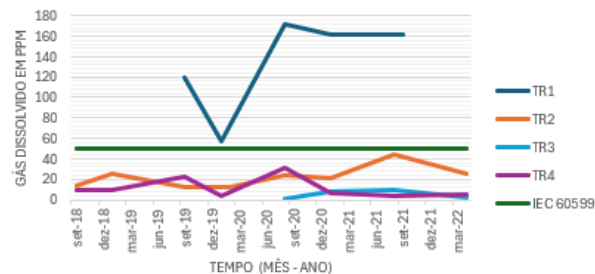
Dióxido de Carbono (CO₂)



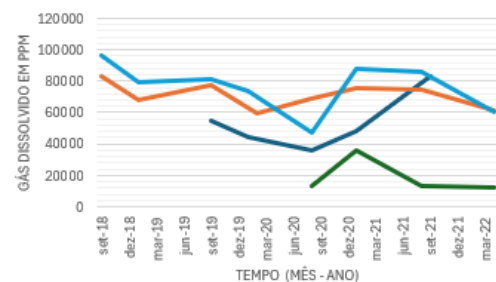
Etileno (C₂H₄)



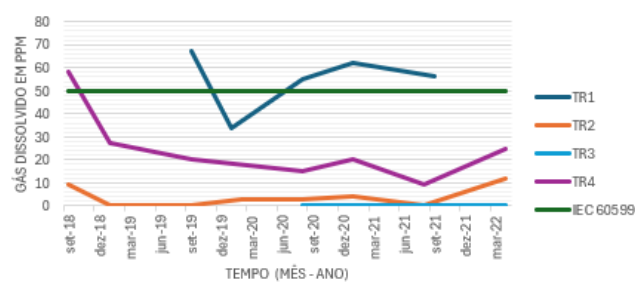
Etano (C₂H₆)



Nitrogênio (N₂)



Metano (CH₄)



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 3 - Relação dos gases dissolvidos no óleo com as faltas características

Caso	Falha característica	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
DP	Descargas parciais	NS	< 0,1	< 0,2
C1	Centelhamento	0 – 0,6	0,1 – 1	< 1
D1	Descargas de baixa energia	>1	0,1 – 0,5	>1
D2	Descargas de alta energia	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	Sobreaquecimento $t < 300^\circ\text{C}$	< 0,01	>1	< 1
T2	Sobreaquecimento $300^\circ\text{C} < t < 700^\circ\text{C}$	< 0,1	>1	1 – 4
T3	Sobreaquecimento $t > 700^\circ\text{C}$	< 0,2	>1	>4

Fonte: Adaptado de NBR 7274 (2012, p. 13).

Tabela 4 – Relevância de acordo com o nível de gases combustíveis

Total de Gases Combustíveis (TGC) em ppm	Nível
0 – 400	Baixo
400 – 900	Médio
900 – 1500	Significativo
1500 – 2500	Alto
Acima de 2500	Muito alto

Fonte: Adaptado de NBR 7274 (2012, p. 13).

Tabela 5 – Relação dos gases do TR1 pelo método de Rogers

TR1		
$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
NS	5,58	0,03
NS	4,86	0,05
NS	5,50	0,03
NS	4,43	0,02
NS	3,50	0,03

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 6 – Relação da degradação do papel isolante

TR1			
CO2 / CO	Valor esperado	O2 / N2	Valor esperado
10,21	3 - 11	0,06	> 0,3
7,85	3 - 11	0,12	> 0,3
22,27	3 - 11	0,07	> 0,3
18,47	3 - 11	0,03	> 0,3
18,08	3 - 11	0,19	> 0,3

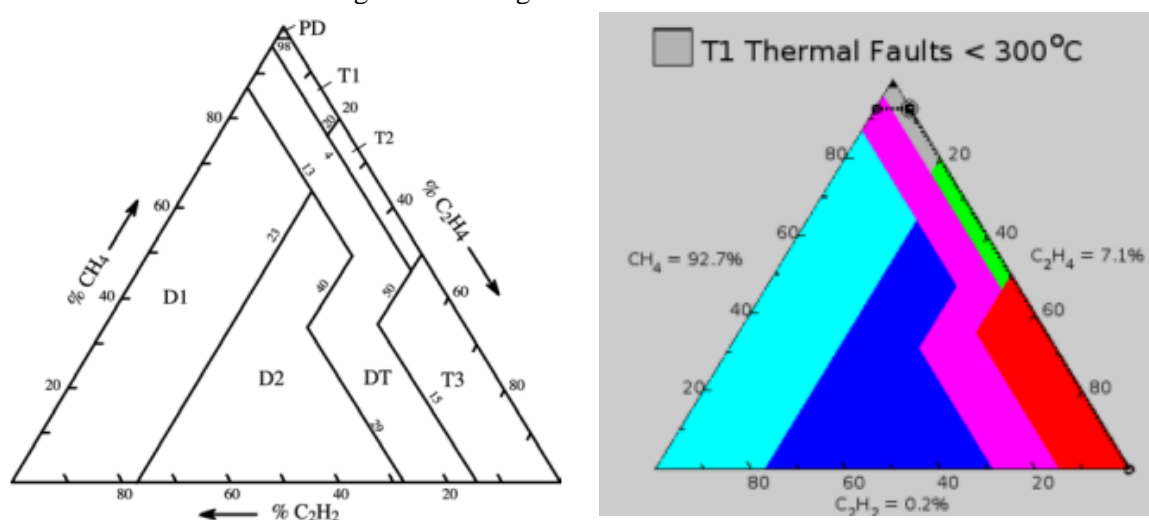
Fonte: Adaptado de NBR 7274 (2012, p. 14)

Tabela 7 – Porcentagem relativa Triângulo de Duval

Amostra	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)
1	94,4	5,6	0
2	91,9	8,1	0
3	91,7	8,3	0
4	93,9	6,1	0
5	91,8	8,2	0
Média	92,74	7,26	0

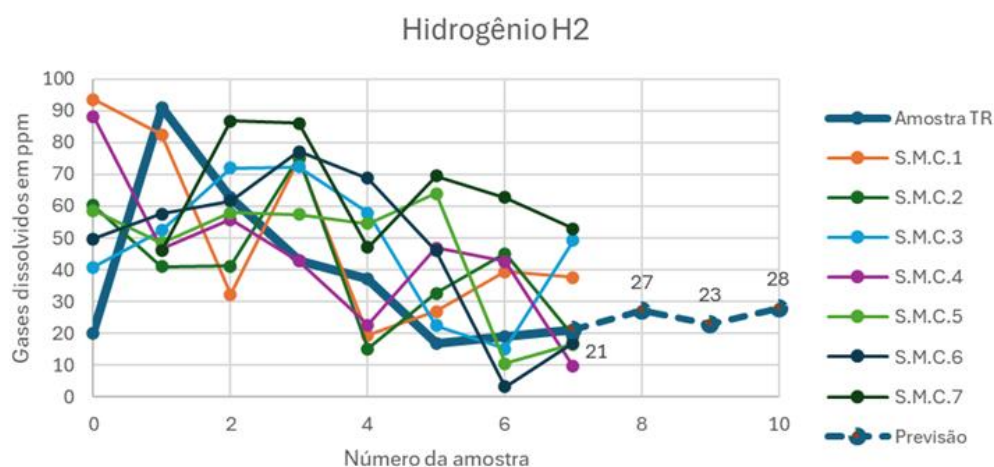
Fonte: Autores, 2024.

Figura 2 - Triângulo de Duval no Matlab



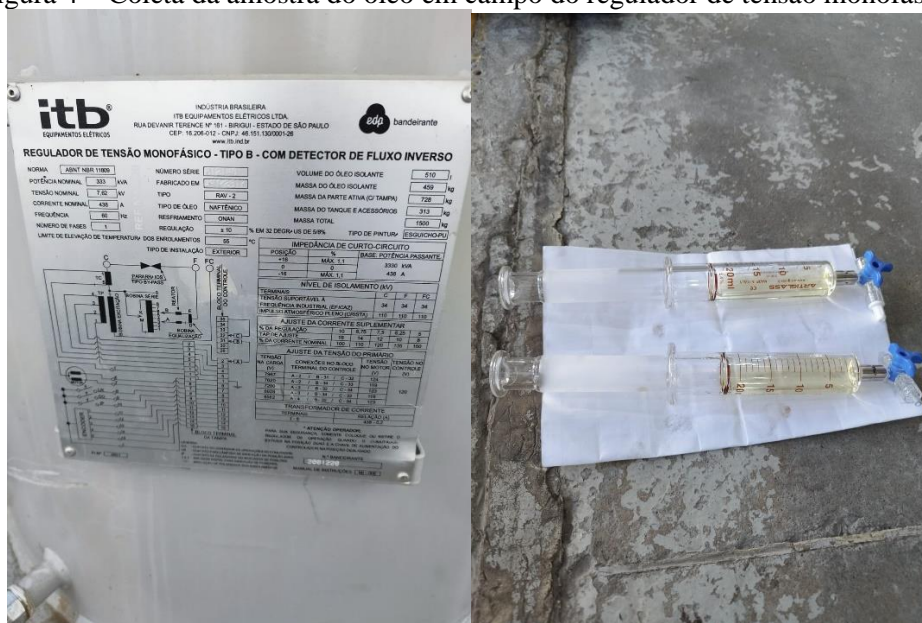
Fonte: matlab.mathworks.com

Figura 3 - Previsão do nível de Hidrogênio TR2 pelo método Monte Carlo



Fonte: Autores, 2024.

Figura 4 – Coleta da amostra do óleo em campo do regulador de tensão monofásico



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 8 – Pesquisa de campo dos gases do regulador de tensão em ppm

Gases dissolvidos em partes por milhão (ppm)			
Data	mar-24	abr-24	mai-24
Hidrogênio (H2)	75	38	101
Oxigênio (O2)	19000	13000	27000
Nitrogênio (N2)	41000	29000	55000
Metano (CH4)	98	7	3
Monóxido de Carbono (CO)	859	541	605
Dióxido de Carbono (CO2)	1249	2259	2210
Etileno (C2H4)	582	7	3
Etano (C2H6)	48	2	3
Acetileno (C2H2)	327	22	9
Total de Gases	63238	44876	84934
Total de Gases Combustíveis	1989	617	724

Fonte: Autores, 2024.

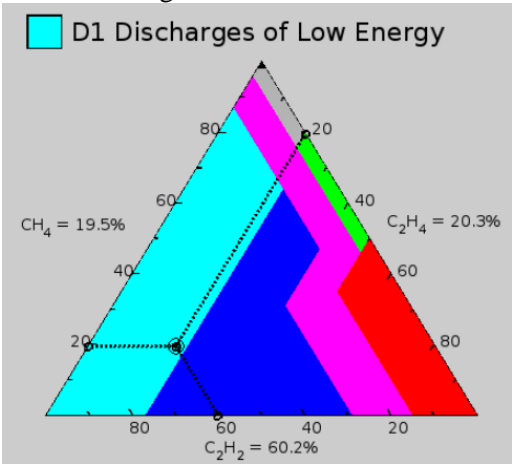
Tabela 9 - Relação da degradação do papel isolante e descargas parciais

Pesquisa de campo						
CO2 / CO	Valor esperado	O2 / N2	Valor esperado	C2H2 / C2H4	CH4 / H2	C2H4 / C2H6
1,45	3 – 11	0,46	> 0,3	0,56	1,31	12,13
4,18	3 – 11	0,45	> 0,3	3,14	0,18	3,50
3,65	3 – 11	0,49	> 0,3	3,00	0,03	1,00

Fonte: Adaptado de NBR 7274 (2012, p. 14)

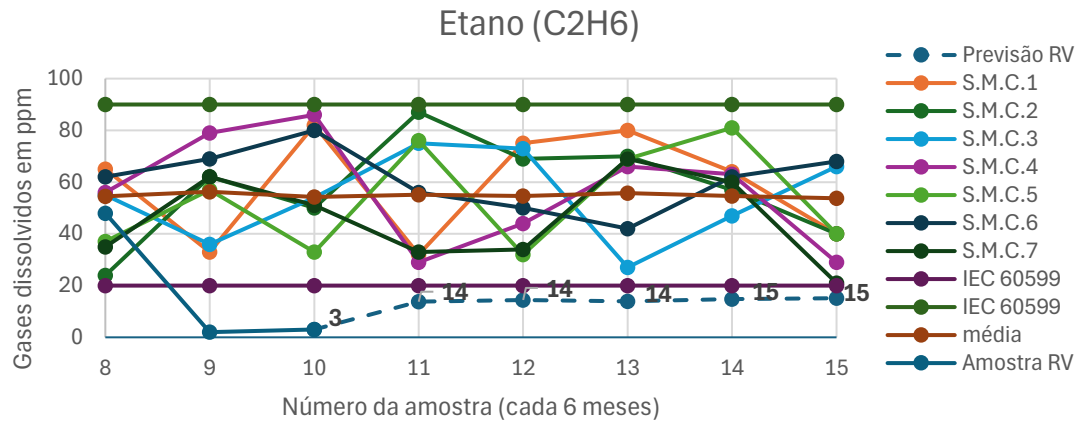
Figura 5 - Análise do óleo utilizando o método do triângulo de Duval

Amostra	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)
1	9,73	57,80	32,47
2	19,44	19,44	61,11
3	20,00	20,00	60,00
Média	16,39	32,41	51,19



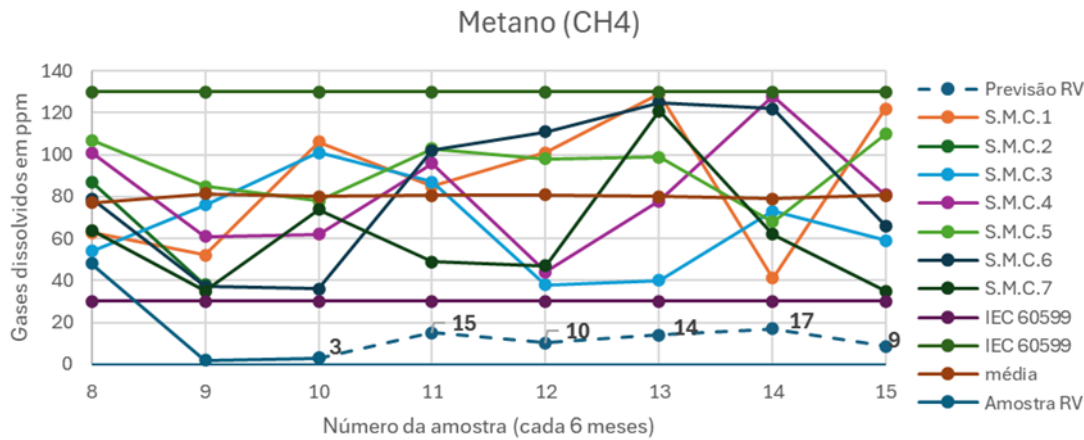
Fonte: matlab.mathworks.com

Figura 6 - Previsão do nível de Etano (C2H6) do regulador pelo método Monte Carlo



Fonte: Autores, 2024.

Figura 7 - Previsão do nível de Metano (CH4) do regulador pelo método Monte Carlo



Fonte: Autores, 2024.