

# Correlação de Gases em Atmosfera de Nitrogênio com Gases Dissolvidos em óleo Isolante de Transformadores.

Amleto Landucci Junior CPFL - Campinas – SP, Vagner Vasconcelos CPFL - Campinas - SP, Adelfo Brás Barnabé, Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação CGTI - Campinas - SP, Flavio Faria, Quantum Tecnologia e Inovação - Campinas - SP, José Mak, B&M Pesquisa e Desenvolvimento - Campinas - SP, Roberto Crespo Maciel, CGTI - Campinas - SP

**Resumo** – Para estabelecer um processo de diagnóstico de falhas incipientes em transformadores de potência online, confiável e de custo reduzido em relação ao atual processo, a partir dos gases dissolvidos em óleo isolante, foram estabelecidos procedimentos para determinar a correlação dos gases dissolvidos nesse óleo isolante, com os gases absorvidos na atmosfera confinada de nitrogênio proporcionada por equipamentos de selagem. A determinação qualitativa e quantitativa dos gases produzidos no interior destes transformadores foi amostrada concomitantemente no óleo isolante e na atmosfera de nitrogênio, possibilitando a pesquisa da existência de correlação dos gases metano, etano, acetileno, oxigênio, etileno, dióxido e monóxido de carbono nestes dois meios.

O ineditismo deste estudo está na busca e possível implementação de proteções de transformadores de distribuição técnica e economicamente mais eficazes e interessantes que aquelas atualmente em uso. Dessa forma, espera-se melhorar o desempenho das proteções desses transformadores e reduzir substancialmente os custos de manutenção e a quantidade de falhas.

**Palavras-chave** – Transformador, Óleo, Gases Combustíveis, Análise de Gases, Diagnóstico de Falhas.

## I. INTRODUÇÃO

Um transformador de potência de Subestação é denominado “Selado”, quando o processo utilizado para preservar as condições do óleo isolante em seu interior, se realiza em circuito fechado, isto é, não permite que o óleo isolante do transformador entre em contato com a atmosfera, reduzindo de forma acentuada a degradação desse óleo pela presença dos agentes contaminantes do ar atmosférico.

A selagem do transformador normalmente é efetuada com auxílio de um gás inerte, inserido sobre a camada de óleo isolante, internamente ao tanque de expansão, no espaço reservado para a movimentação do óleo, que ocorre durante o regime de operação do transformador. O gás inerte utilizado com maior frequência é o Nitrogênio (N<sub>2</sub>).

Esse colchão de gás inserido sobre o óleo visa reduzir pressões internas durante o regime de operação do transformador, visto que o gás tem maior coeficiente de compressão e expansão que os líquidos. Essa redução de pressões internas também pode ser melhorada inserindo-se um “Pulmão” de gás no circuito fechado, o qual realiza a função de drenar ou inserir pressão no circuito conforme as necessidades.

Durante o regime de operação do transformador são gerados gases que se dissolvem no óleo isolante. Esses gases podem ser gerados de várias formas, tais como por existência de pontos com temperaturas elevadas (descargas parciais), degradação da celulose do papel isolante utilizado, defeitos incipientes no transformador, situações de sobrecargas não esperadas, ocorrência de curtos circuitos próximos ou mesmo internos, etc.

Como em transformadores selados o gás inerte utilizado na selagem entra em contato com a superfície do óleo isolante, parte dos gases dissolvidos no óleo isolante acaba se transferindo para atmosfera de gás inerte utilizada.

Visando determinar qualitativamente e quantitativamente esses gases na atmosfera de Nitrogênio do sistema de selagem, procurou-se desenvolver um “Sensor para Gases” que pudesse fornecer tais informações. A idéia consistia em desenvolver um “Sensor para Gases”, que avaliasse amostras retiradas da atmosfera de Nitrogênio do circuito fechado de selagem do transformador, detectasse os gases presentes e efetuasse medições de quantidades, possibilitando obter valores que pudessem ser relacionados com as quantidades dos mesmos gases, presentes no óleo do transformador.

Conhecendo-se a correlação entre os gases desses dois meios, seria possível efetuar medições permanentes através do “Sensor para Gases”, reduzindo-se drasticamente as necessidades de análises cromatográficas frequentes do óleo isolante. Essas análises cromatográficas do óleo isolante somente seriam necessárias se as medições efetuadas de

forma “on line” pelo “Sensor para Gases” indicassem algum valor que necessitasse ser investigado mais detalhadamente.

Para possibilitar o desenvolvimento do “Sensor para Gases”, a B&M disponibilizou para utilização durante o período de ensaios, três “Dispositivos de Selagem e Secagem de Transformadores”. Esses dispositivos possibilitam selar os transformadores escolhidos para o projeto e propiciam o circuito fechado sob atmosfera de Nitrogênio necessário aos ensaios.

## II. METODOLOGIA.

A etapa inicial consistiu de planejamento e adequação de cronograma e o estabelecimento do estado da arte de monitoramento de transformadores de modo on-line e de dispositivos de secagem e selagem em ciclo fechado de nitrogênio.

Em seguida, foi reprojeto o equipamento mecatrônico existente, acrescentando: Sistema de detecção e quantificação de contaminantes gerados no Transformador de Potência por falha incipiente e advindos do meio ambiente; Dispositivo de comunicação independente para envio dos dados coletados do Transformador de Potência;

Estes dispositivos, adaptados foram montados em três transformadores protótipos representando três famílias distintas, acompanhados pelo período de 12 meses, divididos em duas etapas de 6 meses, uma no segundo ano e outro no terceiro ano, para possibilitar um banco de dados com grandezas representativas das influências das variações ambientais e de ciclos de carga sobre os transformadores piloto, de modo a investigar o nível de confiabilidade dos valores resultantes dos testes de monitoramento.

Com base na quantificação de gases combustíveis verificou-se possíveis não conformidades e estabeleceu-se a primeira versão dos algoritmos da correlação pretendida. Para isso, foram desenvolvidos sistemas de avaliações automáticas de amostras de óleo e gases, para sua análise cromatográfica simultânea, através sensores específicos instalados junto aos equipamentos.

Após correção das não conformidades, efetuou-se a segunda fase de monitoramento on-line, apresentando a correlação definitiva entre a cromatografia gasosa de gases dissolvidos em óleo isolante com a detecção de gases contidos em atmosfera de gás nitrogênio.

## III. DISPOSITIVOS DESENVOLVIDOS.

Foi criado um novo processo/dispositivo (mostrados na foto 1) a ser instalado no equipamento de selagem a gás nitrogênio dos transformadores.

O “Sensor para gases” foi instalado internamente ao painel de controle do Equipamento de Selagem e seu conjunto recebeu a denominação de “Módulo de Determinação de Gases”, mostrado na Foto 2.

O “Sensor para gases” foi instalado internamente ao painel de controle do Equipamento de Selagem e seu conjunto recebeu a denominação de “Módulo de Determinação de Gases”.



Foto 1 – Dispositivo de Selagem

O “Módulo de determinação de gases” é constituído de uma câmara de amostragem, onde se encontram instaladas as sondas (gás carbônico, acetileno, etileno, metano, temperatura e umidade) para determinação de gases e avaliação das condições da amostra da atmosfera de Nitrogênio, e de uma caixa de controle, externa à câmara de amostragem e junto a esta; onde se encontram instaladas as placas de controle.

A seguir, Foto 2 do “Módulo de Determinação de gases, que na essência, é o próprio “Sensor para gases” em desenvolvimento.



Foto 2 - Módulo de determinação de gases

Vistas da Câmara de amostragem para gases (corpo cilíndrico) e da Caixa de controle (caixa preta aberta e mostrando as placas de controle)

Na foto 3 podemos ver um dos sensores de gases instalados no interior da câmara de amostragem para gases.



Foto 3 - Sonda utilizada para determinação de CO2

#### IV. LOGICA DO MODULO DE DETERMINAÇÃO DE GASES.

O “Módulo de determinação de gases” efetua a avaliação qualitativa e medição quantitativa dos gases presentes na amostra de atmosfera de Nitrogênio inserida na câmara de amostragem. As demais funções necessárias ao processo (conforme figura 1): Coleta da amostras da atmosfera de N2, inserção das amostras na câmara de amostragem, registro dos resultados obtidos, banco de dados de resultados, comunicação com a unidade centralizada e envio dos relatórios de ensaios, retirada das amostras da câmara de amostragem e direcionamento das mesmas para o depósito de Nitrogênio, são efetuadas pelo CLP (Controlador lógico programável); com auxílio de software específico desenvolvido para o processo. Estas funções são realizadas por componentes e acessórios externos ao módulo de determinação de gases, e são necessários para o correto funcionamento deste módulo.

A correlação entre as quantidades de gases presentes no óleo do transformador e na atmosfera de Nitrogênio do dispositivo de selagem foi obtida através de análises laboratoriais de amostras coletadas ao mesmo tempo para esses dois meios.

Os ensaios em laboratório para as amostras da atmosfera de Nitrogênio possibilitam também aferir a indicação do sensor para gases em desenvolvimento, pois o mesmo deve indicar aproximadamente a mesma quantidade de cada gás, que a obtida em laboratório.

Posteriormente, com o sensor para gás aferido e confiável, este poderá ser instalado em outros transformadores para aferição e melhoria dos algoritmos obtidos, bem como para validação de resultados quando aplicado a famílias distintas de transformadores.

#### V. DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO

O desenvolvimento de algoritmo para avaliar correlação existente entre as quantidades de gases presentes no óleo do transformador e as quantidades desses mesmos gases, existentes na atmosfera de Nitrogênio, que se encontra em contato com esse óleo visa verificar as quantidades de gases presentes na atmosfera de nitrogênio, para avaliar se o sensor para gases em desenvolvimento possui a sensibilidade necessária para determinar tais quantidades e

se suas leituras são compatíveis com os resultados obtidos em laboratório.

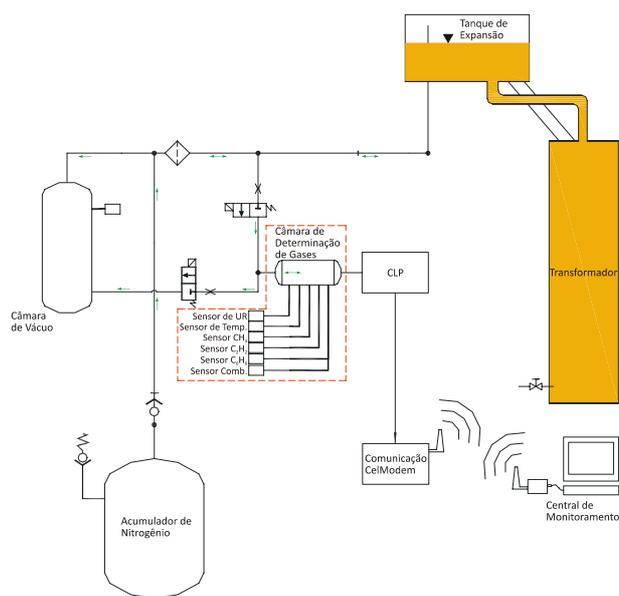


Figura 1 – Fluxograma do processo.

**Ensaios de campo-** Em campo foram efetuadas avaliações iniciais de teor de água (com aparelho Vaisalla) e de temperatura da amostra (com termômetro interno acoplado ao dispositivo de coleta), na amostra de óleo isolante coletada para envio ao laboratório.

Efetuada também análises de temperatura e de umidade das amostras de gás da atmosfera de Nitrogênio (utilizando os sensores de temperatura e de umidade da câmara de amostragem de gases, interna ao dispositivo de selagem e secagem).

Simultaneamente à coleta da amostra de óleo para ensaios em laboratório; também foi coletada uma amostra da atmosfera de Nitrogênio (em seringa própria) para a mesma finalidade, visando levantar dados que possibilitassem a comparação entre as proporções de gases componentes de ambas.

**Amostra de óleo-**Ao ser coletada a amostra de óleo para envio ao laboratório, foram efetuados alguns registros e ensaios de campo para a mesma.

O dispositivo de coleta de óleo possui um termômetro acoplado que possibilita a leitura da temperatura da amostra no instante da coleta. Foi utilizado também um aparelho (Vaisalla), que permite verificar instantaneamente, o teor de água existente na amostra, no momento da coleta.

Foram ainda anotadas outras leituras no momento da coleta, a saber:

- 1) Data e horário da coleta
- 2) Temperatura ambiente e umidade relativa do ar : - utilizado um termo-higrômetro colocado próximo ao local.
- 3) Temperatura do óleo do transformador: - anotada a indicação do termômetro de óleo do mesmo.
- 4) Temperaturas do corpo do transformador (ponto superior; médio e inferior do tanque): - utilizado um termômetro de medição instantânea à distância.

5) Corrente de carga do transformador: - Solicitada a leitura dessa variável ao COS da CPFL, no momento da coleta.

OBS: Foram coletadas duas amostras de óleo por horário (uma para ensaio de gás / cromatografia e outra para ensaio físico - químico).

**Amostra de atmosfera de N2-A** amostra de atmosfera de Nitrogênio coletada para envio ao laboratório foi retirada em registro próprio para essa finalidade, localizado na tubulação desse gás, que interliga o reservatório de N2, ao tanque de expansão do transformador.

Antes da retirada dessa amostra, foi efetuada uma operação automática de determinação de gases da atmosfera de Nitrogênio, pelo dispositivo de selagem, secagem e determinação de gases. Essa medição é efetuada na câmara de amostragem de gases do dispositivo, onde se encontram instalados os sensores já desenvolvidos (umidade e temperatura) e em desenvolvimento (gases).

Nesse ensaio foram anotadas temperatura e umidade da atmosfera de N2 existente no tanque de expansão do transformador. Imediatamente após esse ensaio, foi coletada em seringa própria, uma amostra da atmosfera de N2, para análise dos gases componentes, em laboratório.

Os dados registrados nessa coleta foram os seguintes:

- 1) Data e horário da coleta
- 2) Temperatura ambiente e umidade relativa do ar : - utilizado termo-higrômetro colocado próximo ao local.
- 3) Temperatura do óleo do transformador: - anotada a indicação do termômetro de óleo do mesmo.
- 4) Temperaturas do corpo do transformador (ponto superior; médio e inferior do tanque): - utilizado termômetro de medição instantânea à distância.
- 5) Corrente de carga do transformador: - Solicitada leitura do valor dessa variável, ao COS da CPFL, no momento da coleta.

Estão sintetizados nas planilhas a seguir, os dados levantados em campo e os resultados obtidos no laboratório, para as amostras retiradas.

A seguir estão inseridas planilhas, com a síntese dos resultados obtidos.

## VI. RESULTADOS GRÁFICOS

Para facilitar a visualização, foram disponibilizados sob forma gráfica neste trabalho, alguns dos resultados de laboratório (Curvas 1, 2 e 3). No estudo, foram levantadas para os gases Oxigênio, Nitrogênio, Monóxido de carbono, Dióxido de carbono e Gases Combustíveis em geral. Os Gases combustíveis são representados pela somatória de Hidrocarbonetos (Acetileno, Etileno, Metano e Etano), Hidrogênio e Monóxido de carbono (CO) presentes nas amostras.

### Dados Registrados em Campo

1) Amostras de óleo - TR1 da SE Taquaral - Coletadas no Registro Inferior

Data	Hora	Tcor água Amostra (Vassalã) ppm	Temperatura		Umidade Relativa ar (termohigr.) %	Temperatura Instantânea TR1			Carga Amperês	
			Amostra (Disp. Coleta) °C	Ambiente (termohigr.) °C		Termômetro Óleo TR1	Topo °C	Inferior °C		Ponto médio °C
05/11	09:15	30	23,4	22,6	61	46,0	37,2	23,8	28,2	271
	12:15	24	28,5	29,6	46	54,0	36,0	28,2	31,2	273
	15:15	27	28,7	29,6	52	53,5	44,0	29,2	33,2	290
06/11	09:15	48	22,3	21,9	77	46,0	40,6	23,1	34,2	515
	12:15	31	27,8	26,9	64	54,0	44,8	26,6	36,8	520
	15:15	20	24,8	24,1	80	52,5	42,8	27,0	36,6	520
07/11	09:15	35	27,8	27,1	62	54,0	43,6	27,2	34,2	415
	12:15	27	31,7	33,4	39	56,5	47,6	31,6	36,7	425
	15:15	22	32,8	33,0	34	56,5	46,0	32,4	34,6	450
08/11	09:15	23	28,7	28,9	55	54,5	42,8	27,6	35,2	415
	12:15	24	34,8	33,0	38	59,0	49,7	33,4	38,0	450
	15:15	23	34,2	33,8	38	54,0	44,8	32,6	36,6	430
09/11	09:15	23	29,2	26,1	53	53,0	42,8	27,8	34,6	430
	12:15	20	33,6	30,9	35	56,5	46,0	31,6	38,4	435
	15:15	24	32,2	29,4	53	52,0	40,0	30,6	34,4	460

2) Amostras de Atmosfera de Nitrogênio (N2). TR1 SE Taquaral - Tanque de Expansão.

Data	Hora	Temperatura Ambiente (Termo-higrômetro) °C	Umidade relativa ar (Termo-higrômetro) %	Temperatura Amostra (Sensor) °C		Umidade Amostra (Sensor) %
				Superior	Inferior	
05/11	09:15	23,9	56	25,8	53	53
	12:15	29,3	49	33,5	43	43
	15:15	29,6	86	34,3	57	57
06/11	09:15	20,9	75	24,1	47	47
	12:15	26,9	65	30,3	53	53
	15:15	23,4	88	24,8	46	46
07/11	09:15	27,9	60	30,5	46	46
	12:15	31,9	41	34,7	41	41
	15:15	25,0	36	38,3	39	39
08/11	09:15	28,9	55	29,5	47	47
	12:15	38,3	36	37,5	50	50
	15:15	33,0	38	36,6	48	48
09/11	09:15	26,1	54	30,0	51	51
	12:15	-	-	-	-	-
	15:15	-	-	-	-	-

Observação: Em 09/11/09, não foram coletadas amostras da atmosfera de Nitrogênio nos horários de 12h15min e 15h15min visto que ao cronograma do Laboratório de Análise de Óleos se encontrava em manutenção corretiva forçada e não estava disponível para efetuar análises.

- Ensaio SE Taquaral - 05 a 09 / 11 / 07

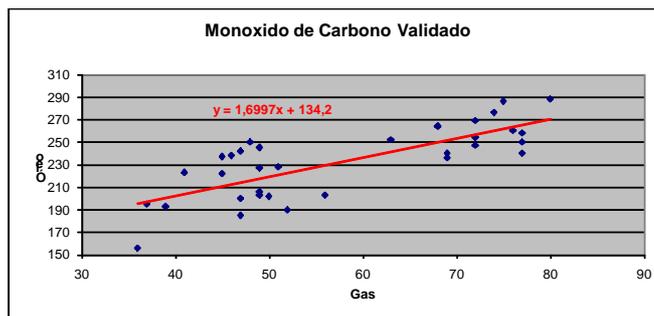
### Ensaio de Laboratório

Resultados de cromatografia do óleo e da atmosfera de N2.

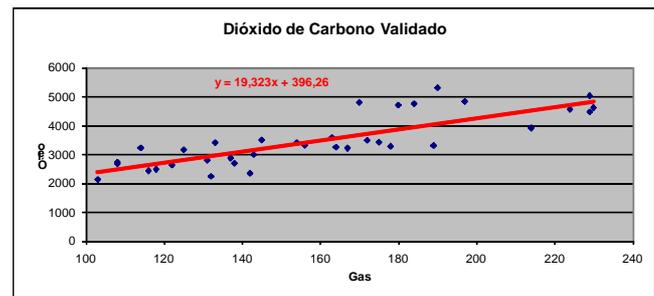
Data coleta	Gases dissolvidos	Óleo Registro inferior		Gás Tanque expansão		Óleo Registro inferior		Gás Tanque expansão	
		Óleo Registro inferior	Gás Tanque expansão	Óleo Registro inferior	Gás Tanque expansão	Óleo Registro inferior	Gás Tanque expansão		
05/11	H2 - Hidrogênio	0	22	0	0	0	0	0	0
	O2 - Oxigênio	12400	470	13000	3500	13700	13700	2900	2900
	N2 - Nitrogênio	72200	44600	69000	43900	61800	46400	46400	46400
	CO - Monóxido de carbono	185	47	202	50	156	36	0	0
	CH4 - Metano	1	1	0	1	0	1	0	0
	CO2 - Dióxido de carbono	5028	229	4566	224	3912	214	0	0
	C2H4 - Etileno	0	0	0	0	0	0	0	0
	C2H2 - Acetileno	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	89814	45379	86770	47674	79570	49550	49550	49550
	Combustíveis	186	80	204	50	158	36	0	0
	Saturar: óleo c/ gás	23 °C	-1 °C	28 °C	-1 °C	28 °C	-1 °C	28 °C	-1 °C
	Umidade relativa ar	61 %	56 %	46 %	49 %	52 %	52 %	52 %	52 %
	06/11	H2 - Hidrogênio	20	16	0	0	0	0	0
O2 - Oxigênio		16500	4400	16300	3900	17300	3100	3100	3100
N2 - Nitrogênio		76400	46400	68000	46300	70400	47900	47900	47900
CO - Monóxido de carbono		222	45	190	52	193	39	39	39
CH4 - Metano		1	1	0	0	0	1	1	1
CO2 - Dióxido de carbono		5303	190	4470	229	4753	184	184	184
C2H4 - Etileno		0	0	0	0	0	0	0	0

### Planilha 1

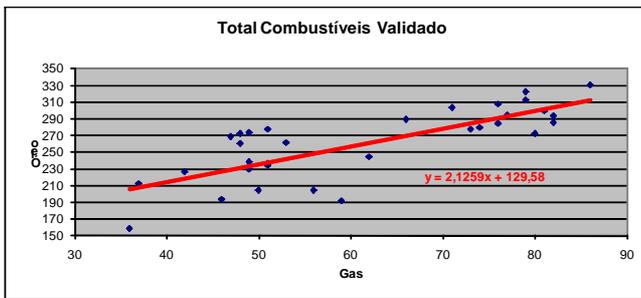
Optou-se pela representação gráfica dessa somatória, visto que individualmente, os valores dos gases Acetileno, Metano, Etano e Etileno nas amostras, eram bastante reduzidos (pouco representativos). O acetileno apresentou valores nulos (ausência do gás), não possibilitando dados suficientes para determinar eventual tendência.



Curva 1 – Monóxido de Carbono



Curva 2 – Dióxido de Carbono



Curva 3 – Total de Gases Combustíveis

## VII. ALGORITMOS DA CORRELAÇÃO

### Gases combustíveis:

Etileno:  $y = 16,409x + 10,712$

Dióxido de Carbono:  $y = 19,323x + 396,26$

Metano:  $y = 0,5241x + 1,7048$

Hidrogênio:  $y = 1,2257x - 0,3048$

Monóxido de Carbono:  $y = 1,6997x + 134,2$

Total de gases combustíveis:  $y = 2,1259x + 129,58$

### Gases não combustíveis

Nitrogênio:  $y = -1,0249x + 118704$

### Outros Gases

Oxigênio:  $y = -0,4674x + 14389$

Total de gases:  $y = -0,9069x + 134325$

## VIII. NÃO CONFORMIDADES OBSERVADAS

Verificando-se os valores obtidos nos ensaios de campo para análise de gases, comparativamente aos resultados obtidos em laboratório para amostras idênticas de gases, verificou-se que os sensores de gases metano, etileno e acetileno (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> respectivamente) não apresentaram valores suficientes por ausência destes gases nos transformadores. Esta situação não havia sido prevista na metodologia do projeto.

Já o sensor do gás C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> desenvolvido apresentava deficiência de sensibilidade quando se tratava de detectar quantidades muito pequenas (1 a 20 ppm) de gases componentes.

## IX. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O alto grau das correlações obtidas entre gases dissolvidos no óleo isolante e na atmosfera de Nitrogênio de transformadores de potência possibilita a utilização dessa correlação para diagnósticos de falhas incipientes nestes transformadores a partir dos gases detectados na atmosfera de nitrogênio, correlacionando-os á quantidade de gases que estão dissolvidos no óleo isolante. A partir daí pode-se aplicar todos os procedimentos para gases dissolvidos em óleo isolante para diagnosticar, com confiabilidade, falhas incipientes em transformadores de potência.

Os valores de correlação obtidos e a ausência dos gases metano, etileno e acetileno (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> respectivamente) necessitam de acompanhamento em transformadores que possuam falhas incipientes de alta energia.

A formação de hidrocarbonetos (Acetileno, Etileno, Metano e Etano), está associada a características de defeitos incipientes envolvendo alta e média energia (temperaturas de 300°C a mais de 1000°C). Já a formação de monóxido de Carbono (CO), é característica de falhas incipientes de baixa energia (100°C a 300°C) envolvendo degradação do papel e ou celulose.

Para os gases combustíveis (GC) e para o monóxido de carbono (CO), as correlações podem ser utilizadas na detecção on line de defeitos de baixa energia envolvendo o papel isolante (CO) e para defeitos de media intensidade, envolvendo descargas parciais (GC).

Para defeitos de alta intensidade, caracterizadas pelo gás acetileno, recomendamos continuidade do estudo em transformadores que possuem falha incipiente.

Uma amostragem em períodos mais longos pode melhorar as correlações obtidas neste estudo.

## X. REFERÊNCIAS.

- [01] FRACCARI, P. L. – “Poluição ambiental : Aspectos Gerais e Comparativos da Solução dada pela Flórida Power & Light e Eletropaulo, ao Óleo vazado dos Transformadores”. 4º seminário Técnico das Empresas de Energia de São Paulo - Eletropaulo - Eletricidade de São Paulo SA - 1991
- [01] V. Sokolov, A. Bassetto F., J. Mak, D. Hanson "Transformer Risk Assessment Considerations", Proceedings of TechCon2002 Asia Pacific, Melbourne, Australia, 2002, 15 p.
- [02] V.Sokolov "Transformer Life Management "Proceedings of II Workshop, Salvador, 2001, 21p.
- [03] L. Cheim et al., "A data bank of failed power transformer units: post-mortem inspection x dissolved gases", CIGRE SC 12 Transformers Colloquium, Sydney, October 1997.
- [05] V. Sokolov, "Consideration on Power Transformer Condition-based Monitoring", Proceedings of the VII EPRI Conference, New Orleans, 2000.
- [06] T.J. Hauptert, D. Hanson, L. Savio, C. Stefanski "The Application of New Diagnostic Protocols for the Condition-Based Assessment of High-Voltage Electrical Equipment", NETA Technical Conference Papers, 1999.
- [07] V. Sokolov "Consideration in Transformer Life Management - a View from Abroad", Proceedings of the TechCon '99 Annual Conference, TJ/H2b, February 18-19, 1999, New Orleans, LA
- [08] J. Mak et al. "Effects of preservation systems on the condition of the insulating systems in power transformers". TECHCON 99, Nova Orleans, 1999. Anais. Sacramento, TJ/H2b, 1999, 11 p.
- [09] M. Wang; A. J. Vandermaar; K. D. Srivastava; "Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service"; IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 18, no. 6, 2002.
- [10] D. Chu; A. Lux; "On-Line Monitoring of Power Transformers and Components - A Review of Key Parameters"; IEEE Tranformer On-Line Monitoring Task Force, 2000.
- [11] P. Zylka; B. Mazurek; "Rapid Dissolved Gas Analysis by means of Electrochemical Gas Sensors"; IEEE - Proceedings of 14th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL, 2002), Graz (Austria), July 7-12,2002
- [12] Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL; "Análise de Óleo Isolante e Papel Isolante de Equipamentos de Subestação"; Documento 3945 - Versão 1.2 - Dezembro 2003.