



**17º  
congresso  
brasileiro  
de engenharia  
sanitária  
e ambiental**

*Natal / RN  
19 a 23/09/93*

V.2  
TRABALHOS TÉCNICOS  
LOMO II



TEMA CENTRAL  
Sanecamento Ambiental:  
Ação de Saúde Pública

ANAIS DO 17º CONGRESSO  
BRASILEIRO DE ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL

NATAL - RN, 19 a 23 de setembro de 1993

Vol.2 - Trabalhos Técnicos - Tomo II

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Am-  
biental (17. : 1993 : Natal, RN)  
C759a Anais / do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 2, tomo II ; promoção ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental ; realização ABES Seção Rio Grande do Norte. — Rio de Janeiro : ABES, 1993

Conteúdo: v.2 t.II. Trabalhos técnicos  
ISBN 85-7022-110-X

1. Engenharia ambiental - Brasil - Congressos.
2. Engenharia sanitária - Brasil - Congressos. I. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. II. Título.

93-0805

CDD - 628.06081  
CDU - 628.061.3(81)

**ENSAIOS DE OZONIZAÇÃO COM A DETERMINAÇÃO DOS  
RESIDUAIS NAS FASES GASOSA E LÍQUIDA**

Roberto Bresaola	(*)
Maria de Lourdes Di Matteo	(**)
Luiz Di Bernardo	(***)

**CURRÍCULO**

- (\*) Mestrando em Hidráulica e Saneamento FEC-UNICAMP.  
Engenharia Civil FCT-PUCC (1981).  
Atividades:  
Prefeitura da Estância de Atibaia  
Chefe da Divisão de Limpeza Pública (1991).  
Prefeitura de Santos  
Engenheiro de Obras (1987).  
Trabalho publicado 16º Congresso da ABES:  
"Influência da Pré-Ozonização na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Águas de Abastecimento".
- (\*\*) Mestre em Hidráulica e Saneamento FEC-UNICAMP (1992).  
Engenharia Sanitária FCT-PUCC (1985).  
Tecnologia Sanitária - UNICAMP (1980).  
Atividades:  
CETESB-Escritório Regional de Limeira-SP.  
Engenheira Sanitarista (1992).  
PRESERVAÇÃO  
Diretora de Saneamento (1993).  
HIDROSAN Engenharia - São Carlos-SP  
Estudo e elaboração de Projetos de Tratamento de Água  
Período: 01/1991 - 06/1992  
Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Limeira-SP  
Chefe de Distribuição de Água  
Período: 1985-1989  
Trabalho publicado 16º Congresso da ABES:  
"Influência da Pré-Ozonização na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Águas de Abastecimento".
- (\*\*\*) Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos-USP

**RESUMO**

O progressivo aumento da poluição dos mananciais e a preocupação cada vez mais crescente no rigor dos padrões de potabilidade das águas de abastecimento são fatores que concorrem para a procura de processos mais eficientes e alternativos aos comumente utilizados nas estações de tratamento de água. A preocupação em diminuir o potencial de formação de trihalometanos com a aplicação de cloro, obrigou a realização de pesquisas de métodos substitutivos para o controle da matéria orgânica presente nas águas de abastecimento, como por exemplo a ozonização.

ENSAIOS DE OZONIZAÇÃO COM A DETERMINAÇÃO DOS  
RESIDUAIS NAS FASES GASOSA E LÍQUIDA

**RESUMO (continuação)**

O presente trabalho foi realizado em estação piloto, com unidade completa de geração de ozônio, utilizando-se água superficial, com o objetivo de determinar-se: (i) a produção de gás ozônio; (ii) o residual do gás na água (câmara de contato); (iii) o excesso de gás ozônio.

As reações do ozônio com compostos orgânicos e a sua decomposição dependem de fatores cinéticos, químicos e têm forte efeito na eficiência de transferência de massa. As características fisico-químicas, químicas e microbiológicas da água bruta, e as características da câmara de contato, são fatores preponderantes para definição da concentração do gás afluente e das demais variáveis de controle da unidade piloto.

A câmara de contato foi operada em regime de batelada durante todos os ensaios, e com a finalidade de se trabalhar com um valor de produção de ozônio constante, foram fixados os parâmetros de controle do gerador e as colunas (produção, excesso e destruição) foram colocadas em equilíbrio para que não houvessem alterações de pressão na célula geradora de ozônio (alteração do valor da produção) quando da transferência do gás de uma coluna para outra.

O teor residual de excesso, nas duas séries de ensaios, foi proporcional à dosagem de ozônio aplicado, para todos os tempos de aplicação. A utilização do método iodometrônico na determinação desse residual demonstrou ser passível de introdução de erros, pois o iodeto de potássio pode reagir com vários gases oxidantes (resultantes da decomposição do ozônio e os presentes na água bruta) e não sómente com o ozônio.

Os autores agradecem à FAPESP pela concessão de bolsa de mestrado (Proc. n89/3385-0), à UNICAMP pelo fornecimento de bolsa de mestrado e ao SEMAE de Piracicaba pelo apoio na fase experimental.

**ENDEREÇO:** (\*) Rua Elizeu Corradini, 79  
Caixa Postal, 137  
Jardim Ypê  
12940-000 Atibaia-SP

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento desenfreado e sem planejamento urbano é refletido diretamente na qualidade das águas dos rios que, em sua maioria, recebem lançamentos de todas as espécies de dejetos, obrigando o estudo de novas alternativas no tratamento de águas para abastecimento. Apesar da ozonização ser utilizada há mais de 80 anos na desinfecção, só mais recentemente a Europa e países da América do Norte começaram a adotá-lo como uma nova alternativa de oxidação.

Segundo Glaze (1987), a decomposição ciclica do ozônio na água pura (isenta de qualquer tipo de impureza), pode ser visualizada esquematicamente através da Figura 01. Assim como Chelkowska e Grasso (1988), Glaze (1987) reporta que, na presença de contaminantes, como matéria orgânica e bicarbonatos, esse ciclo pode não ser observado. O autor reporta que o ozônio é instável em valores elevados de pH, em água livre de contaminantes, justificando que o processo de decomposição é iniciado pelos íons hidroxídos.

A natureza eletrofílica do ozônio, reportada por Di Bernardo (1988) e Nebel (1981), permite reações com uma variedade de grupos funcionais orgânicos e organo-metálicos. A Figura 02 mostra, esquematicamente os grupos químicos passíveis de reação com o ozônio. Devido sua estrutura dipolar, o ozônio pode reagir como um dipolo, agente eletrofílico e nucleofílico.

As reações do ozônio com compostos orgânicos, segundo Dore et al (1989), podem ser de dois tipos: (i) reação direta, que envolve o ozônio na sua forma molecular; (ii) reações de radicais livres, que envolvem o radical hidroxila produzido na autocatálise de decomposição do ozônio. O esquema da Figura 3 apresenta as possíveis reações do ozônio com compostos orgânicos. Segundo esses autores, os radicais hidroxilas são conhecidos como reativos por serem menos seletivos em suas reações com o ozônio.

De acordo com Gurol (1985) e Yurteri e Gurol (1989), o processo de ozonização depende de fatores cinéticos, químicos e operacionais, como as características químicas da água bruta, a transferência de massa no processo, as características hidrodinâmicas da câmara de contato, a concentração do gás afluente e as variáveis operacionais (a vazão da água afluente, o tempo de detenção hidráulica e a altura de coluna de água, acima da placa de difusão). Segundo esses autores, a reatividade e a volatilidade de traços de certos contaminantes orgânicos também tem forte efeito na eficiência do processo.

O controle do residual de ozônio na água apresenta grande importância na oxidação dos diversos compostos existentes na água. O desenvolvimento de estudos mais aprimorados resultaram em avanços tecnológicos na detecção mais seletiva do residual do ozônio.

Masschelein (1989) reporta que os métodos mais recentes para de-

terminação de residual de ozônio, foram padronizados pelo Comitê da Associação Internacional de Ozonização (IOAO), e pelo Standard Method, para as fases: (i) gasosa - métodos iodometrício e absorvância de UV; (ii) líquida - métodos iodometrícios e colorimétricos.

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de se estudar o comportamento dos residuais de ozônio nas fases gasosa e líquida, quando da realização de ensaios de pré-ozonização de água bruta, em unidade piloto.

## 2. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

### 2.1. Descrição da Instalação

A investigação experimental foi realizada com água bruta afluente à uma estação de tratamento de água para abastecimento, sem a adição de compostos químicos. Essa água é proveniente de um manancial onde, a montante da captação, são lançados em sua maioria, efluentes domésticos, industriais e agrícolas, in natura.

O conjunto de geração de ozônio é composto, conforme Figura 04, de um cilindro de gás oxigênio (fonte para a unidade geradora de gás ozônio); câmara de contato; coluna para determinação de produção de ozônio; duas colunas de destruição do excesso de ozônio: (i) coluna de excesso de gás ozônio (off gas), na saída da câmara de contato e (ii) coluna de aquecimento do gerador de ozônio, quando da necessidade de aquecer, ou desviar o gás ozônio introduzido na câmara de contato ou nas colunas, sem a necessidade de alterar a dosagem ou desligar todo o sistema. O controle de distribuição do gás ozônio entre as câmaras é realizado através de um conjunto de registros de acionamento manual.

Foi utilizado um gerador de ozônio com capacidade máxima nominal de 12 mg O<sub>3</sub>/l, com concentração em peso de 2%, podendo operar com uma pressão na cabeça da célula de até 1kg/cm<sup>2</sup> e variação de tensão nominal de zero a 250 Volts. O aparelho era dotado de um sistema com refrigeração por água corrente.

### 2.2. Metodologia

Os ensaios de ozonização foram realizados observando-se as seguintes determinações: a) o valor da produção do gás, gerado pelo ozonizador; b) o residual da água ozonizada na câmara de contato, para cada tempo de aplicação; c) o residual do excesso de gás coletado em coluna específica.

Na busca de uma dosagem adequada de aplicação de ozônio e, na tentativa de se conseguir um maior tempo de permanência do residual de ozônio na água, optou-se pelas condições de operação do aparelho gerador conforme os parâmetros mencionados na Tabela 01. A produção adotada foi constante em todos os ensaios, variando-se apenas o tempo de aplicação de ozônio (5; 7,5; 10 e 15 min) e, consequentemente a dosagem de ozônio aplicada (Tabelas 02 e 03).

### 2.2.1 - Determinação da Produção

O método adotado para determinação da produção de ozônio na forma de gás foi o Iodométrico, conforme Standard Method (1985). Foi utilizada uma coluna de acrílico de diâmetro interno de 8,9cm, contendo solução de iodeto de potássio onde foi aplicado o gás ozônio. O iodeto foi oxidado a iodo enquanto que o ozônio foi reduzido a oxigênio. O valor obtido da produção tem como finalidade se conhecer a dosagem de ozônio a ser aplicada (em função do tempo) na câmara de contato.

### 2.2.2 - Determinação do Residual de Ozônio na Água (Câmara de Contato)

A câmara de contato, conforme ilustra a Figura 05, é de seção cílindrica, construída em PVC, com diâmetro interno de 25 cm e altura total de 577cm, tendo conectada em sua base um tubo de entrada do gás ozônio, e um sistema de descarga para limpeza. Alguns centímetros acima da base, está instalada uma placa difusora, em vidro sinterizado com vazios compreendidos entre 30 a 100 $\mu$ m, com diâmetro de 15,25cm e uma espessura de 0,95cm, responsável pela dispersão de gás na câmara.

Ao longo da câmara foram instalados pontos de tomadas de amostras (TA), espaçados, conforme Figura 05, para estudar o comportamento da distribuição do gás através do controle do residual de ozônio na água.

Para a determinação do residual de ozônio na água, conforme Tabelas 02 E 03, foi utilizado o método B, recomendado pela Associação Internacional de Ozonização e pela Comissão Européia de Padronização (1987), sendo diretamente aplicado para valores de residuais na água compreendidos entre 0,08 a 0,8 mg/l. A água bruta natural foi ozonizada com a câmara de contato sendo operada em sistema de batelada, com coletas individuais imediatas de amostras, com um coletor retirando amostras de TA1 a TA3 e de outro coletando de TA5 a TA4.

### 2.2.3 - Determinação do excesso de Gás Ozônio

O excesso de gás não retido na câmara de contato, durante a realização dos ensaios de ozonização, foi conduzido através de um tubo acoplado no topo da câmara, conforme Figura 05, à coluna de excesso de gás, construída em PVC, com diâmetro interno de 7,5cm, contendo solução de iodeto de potássio.

O método de determinação deste excesso de gás ozônio, foi similar ao empregado na produção. O valor obtido foi proporcional ao tempo de aplicação de ozônio na câmara de contato.

## 3. RESULTADOS

A água bruta natural utilizada nos ensaios de ozonização apresentou pH igual a 8,2, valor de turbidez de 26 UT e cor aparente de 90mg/l (Pt-Co).

Na Tabela 01 são mostrados os parâmetros de controle do aparelho gerador de ozônio, e os respectivos valores que foram adotados na execução nas duas séries de ensaios.

Nas Tabelas 02 e 03, são apresentadas as condições de operação da câmara de contato, os valores de produção de ozônio, as dosagens de ozônio aplicado para respectivo tempo de aplicação na câmara de contato, e os valores residuais obtidos na coluna de excesso de gás ozônio.

Nas Tabelas 02 e 03, também são apresentados os valores das concentrações dos residuais médios de ozônio na água, obtidos através de leitura de absorvância (Método Colorimétrico-Indigo Trisulfonato), para cada tempo de aplicação.

Nas Tabelas de números 04 e 05, são apresentados os valores dos residuais de ozônio obtidos para as amostras individuais coletadas nos cinco diferentes pontos de tomadas ao longo da câmara de contato, conforme a Figura 05, para os diferentes tempos de aplicação de ozônio na câmara de contato, respectivamente para as séries de ensaios 01 e 02 .

#### 4. DISCUSSÃO

Foram realizadas duas séries de ensaios de ozonização, adotando-se os mesmos tempos de aplicação em cada série, onde foram obedecidos os valores para controle do gerador de ozônio, de acordo com os parâmetros da Tabela 01, para ser obtido o valor da produção. O pequeno desvio encontrado para o valor da produção (aproximadamente de 9% em relação ao valor médio) foi devido a alterações de energia na rede nos diferentes dias de ensaios.

Em todos os ensaios foram realizados as determinações dos teores residuais de ozônio na fase líquida (câmara de contato), foi mantido um rígido controle da altura da coluna de água (4,5 m), e das tomadas de amostras (TA), obedecendo sempre a mesma ordem na coleta individual, realizadas imediatamente após o término do tempo de aplicação do ozônio na câmara.

Os ensaios foram realizados em duas séries, com quatro tempos de aplicação (5; 7,5; 10 e 15min). A dosagem aplicada de ozônio foi progressiva, de acordo com as Tabelas de número 02 e 03, ou seja, para um valor de produção constante, a quantidade de ozônio afluente foi proporcional ao tempo de aplicação.

O gás excedente da câmara de contato foi coletado em coluna específica e também apresentou um teor residual proporcional ao tempo e à dosagem de ozônio aplicado, como pode ser visualizado através das Figuras de número 06 e 08. Nessas mesmas figuras pode-se constatar que para o tempo de aplicação de 15min, a dosagem aplicada para 2ª série de ensaios foi ligeiramente maior (17%), e o valor do excesso de ozônio, para essa mesma série, também apresentou um valor do residual maior (8%).

O teor residual de ozônio na água (câmara de contato operando em batelada) de acordo com as Tabelas de números 04 e 05, apresentou valores decrescentes a partir da TA mais próxima da placa difusora ao longo da câmara de contato. De acordo com Nebel (1981), esses valores

estariam ligados à rápida decomposição do ozônio, e o maior tempo de contato do gás com o meio líquido (em relação à placa difusora), o que favoreceria uma maior solubilização do gás na água.

O teor residual médio de ozônio na água, de acordo com as Figuras de número 09 e 10 (para as duas séries de ensaios), inicialmente foi proporcional à dosagem e ao tempo de aplicação até o tempo de 10min, acima desse tempo o teor residual não obedece a mesma taxa de crescimento. De acordo com a lei de Henry, citado em Sotelo et al. (1989), a curva de solubilidade do gás ozônio sofre um abatimento quando começa a entrar na fase de saturação, o que explicaria a diminuição na taxa de adsorção, após o tempo de aplicação de 10min. Deve-se salientar que os valores dos teores residuais de ozônio para cada TA apresentaram valores bem próximos independente do local de coleta, o que também indica o início da saturação da água contida na câmara.

Nas Tabelas de números 04 e 05, também pode ser observado que quanto maior foi o tempo de aplicação, obteve-se uma distribuição mais uniforme do gás em toda a câmara de contato e, o residual de ozônio na coluna de excesso foi diretamente proporcional ao aumento do tempo de aplicação do gás, demonstrando que na parte superior da câmara já começa a aparecer um excesso de gás não consumido.

De acordo com Gurol (1985), os resultados obtidos sobre a transferência de massa de ozônio, dependem das condições de operação da câmara de contato. Neste caso, foi diretamente proporcional ao tempo de aplicação, e ao aumento da concentração de ozônio.

A relação entre os residuais de ozônio, na água e de excesso, e o valor da dosagem aplicada, para cada tempo de aplicação demonstrou que para um determinado volume de água bruta não houve grandes alterações das características da água bruta, pois de acordo com Glaze (1987), a decomposição ciclica do ozônio pode não ser obedecida, e o limite para saturação dependeria das características da água bruta e suas possíveis alterações.

Segundo Glaze (1987), a decomposição ciclica do ozônio pode não ser obedecida, e o limite para saturação dependeria das características da água bruta e suas possíveis alterações. Se verificarmos a relação entre as duas séries de ensaios realizados, de acordo com as Figuras de número 09 e 10, pode ser verificada não existir diferenças sensíveis entre os valores residuais obtidos (na água e de excesso) para as doses de ozônio aplicado, indicando que não houve muita alteração nas características da água bruta pré-ozonizada.

Em uma unidade piloto, como a utilizada neste experimento, o balanço de massa do ozônio deveria ser a diferença entre a doagem aplicada e a soma dos residuais de ozônio (na água e de excesso). Porém, deve-se ressaltar que na coluna de excesso (determinação de residual na fase gasosa) foi utilizado o método iodometrício para se obter o teor

residual, que é um processo simples porém não seletivo, e poderia estar indicando um valor residual total de oxidantes, resultantes da decomposição do ozônio, e também devido ao carreamento de oxidantes oriundos da água bruta contida na câmara de contato, e não somente da presença do ozônio de excesso. Nesse caso, o balanço de massa deveria ser entre o ozônio aplicado e da resultante do residual do ozônio na água e dos residuais totais de oxidantes na coluna de excesso.

## 5. CONCLUSÕES

Verificou-se que o ponto de saturação é o valor limite para a concentração e tempo de aplicação de ozônio. A relação entre a dosagem aplicada, o residual de ozônio na água e o valor do teor de excesso podem definir uma relação prática na escolha da melhor dosagem.

O residual de ozônio na água, determinado pelo método colorimétrico, foi proporcional ao tempo de aplicação (para uma produção constante) até se começar a atingir a saturação, quando então houve um decréscimo na taxa de transferência de massa para a água.

Para uma produção de ozônio constante e tempos de aplicação progressivos, o teor residual de excesso apresentou um comportamento proporcional à dosagem de ozônio aplicado, mesmo quando houve uma redução na taxa de transferência de massa de ozônio para a água.

O método Iodométrico mostrou ser eficiente na determinação do residual de ozônio quando se trabalhou com soluções próprias para análise e com água de diluição destilada e desionizada. Para as condições da coluna de excesso, esse método torna-se passível de falhas pois os gases oriundos da câmara de contato não são necessariamente sólido ozônio na forma molecular, uma vez que os gases gerados pela sua decomposição e do carreamento de oxidantes presentes na água bruta também podem reagir com o iodeto de potássio.

O gerador de ozônio está diretamente ligado ao volume de água a ser tratada, e depende de fatores como a reatividade e a volatilidade dos contaminantes orgânicos, da transferência de massa no processo, e das características da câmara de contato. Para se obter a concentração desejada do gás afluente à câmara de contato depende-se da não oscilação das variáveis de controle durante o processo (alteração da energia elétrica e da pressão de oxigênio na célula geradora de ozônio) e de um sistema de refrigeração adequado, fundamentais para uma maior homogeneidade na produção do gás.

As características físico-químicas, químicas e microbiológicas da água bruta são fatores importantes, pois podem indicar a necessidade do número de câmaras de contato, o tempo de detenção hidráulica para se obter o residual e os resultados desejados nas reações de oxidação e desinfecção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - Bresaola, R. - Influência da Pré-Ozonização na Coagulação-Flocação da Água de Abastecimento, utilizando o Sulfato de Alumínio como Coagulante. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas, UNICAMP, 1992.
- 02 - CHELKOWSKA, K. & GRASSO, D. - Early Aqueous Ozone Decomposition - Progeny Speciation. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.
- 03 - DI BERNARDO, L. - Ozonização. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, USP-SC, 43p, 1989.
- 04 - DI MATTEO, M. L. - Influência da Pré-Ozonização na Coagulação-Flocação, utilizando o Cloreto Férrico como Coagulante. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas, UNICAMP, 1992.
- 05 - DORE, M.; NOMPEX, Ph & al. - Ozonation of molecules Constituting Celular Matter. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.
- 06 - GLAZE, W. H. - Drinking - Water Treatment with Ozone. Environmental Sci. Technology, v. 21(3), p. 224-230, 1987.
- 07 - GUROL, M. D. - Factors Controlling the Removal of Organics Pollutants in Ozone Reactors. Journal of American Water Works Association, v. 77(8), p. 55-65, 1985.
- 08 - MASSCHELEIN, W.J. - Design Rules of Ozonation Systems. Proceedings of International Ozone Symposium, September, R. J., 1988.
- 09 - MASSCHELEIN, W.J. - Present State of Standardization of Ozone Measurements in Europe. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.
- 10 - NEBEL, C. - Ozone. In: KIRK, R. E. & OTHMER, D. F.. (Ed.), Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd edition, v.16, p. 683- 713, New York, 1981.
- 11 - SOTELO, J. L. et al. - Henrys Law Constant for the Ozone - Water System. Water Research, v. 23(10), p. 1239-1246, 1989.
- 12 - YURTERI, C. & GUROL, M. D. - Ozonation of Trace Organic Compounds: Model Predictions versus Experimental Data. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, 1989.

TABELA 01 - Valores dos Pârametros Adotados na Operação do Gerador de Ozônio

CONDICÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO	
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro :	2,0 (kg/cm <sup>2</sup> )
Porcentagem de Vazão Máxima de Oxigênio :	80,0 (%)
Pressão do Gás na Célula Geradora :	0,7 (kg/cm <sup>2</sup> )
Vazão Média do Gás Oxigênio :	479,8 (l/h)
Voltagem	: 230,0 (V)

TABELA 02 - Condição de Operação da Câmara de Contato e Determinações dos Ensaios de Ozonização (1ª série)

CONDICÃO DE OPERAÇÃO DA CÂMARA DE CONTATO : BATELADA	
Volume : 211,3 (l)	Altura da Coluna de Água : 4,52 (m)
Determinações do Ozônio	Tempos de Aplicação (min)
	5      7,5      10      15
Produção Calculada (g/h)	10,309      9,985      10,032      11,015
Dosagem Aplicada (mg/l)	4,070      5,910      7,910      13,050
Residual de Excesso (mg/l)	0,231      0,570      1,048      2,033
Residual na Água (mg/l)	0,157      0,288      0,422      0,394

TABELA 03 - Condição de Operação da Câmara de Contato e Determinações dos Ensaios de Ozonização (2ª série)

CONDICÃO DE OPERAÇÃO DA CÂMARA DE CONTATO : BATELADA	
Volume : 211,3 (l)	Altura da Coluna de Água : 4,52 (m)
Determinações do Ozônio	Tempos de Aplicação
	5      7,5      10      15
Produção Calculada (g/h)	9,780      10,220      9,550      9,150
Dosagem Aplicada (mg/l)	3,860      6,040      7,540      10,830
Residual de Excesso (mg/l)	0,150      0,580      1,090      2,280
Residual na Água (mg/l)	0,219      0,323      0,419      0,427

**TABELA 04 - Teor Residual de Ozônio na Água em função do Tempo de Aplicação, para cada ponto de Tomada de Amostra para a série 01 (mg Os/l)**

TEMPO DE APLICAÇÃO (min)	TOMADA DE AMOSTRA (TA)				
	01	02	03	04	05
5	0,320	0,179	0,093	0,153	0,127
7,5	0,480	0,394	0,196	0,246	0,254
10	0,447	0,450	0,405	0,429	0,447
15	0,410	0,410	0,410	0,402	0,402

**TABELA 05 - Teor Residual de Ozônio na Água em função do Tempo de Aplicação, para cada ponto de Tomada de Amostra para a série 02 (mg Os/l)**

TEMPO DE APLICAÇÃO (min)	TOMADA DE AMOSTRA (TA)				
	01	02	03	04	05
5	0,331	0,262	0,127	0,185	0,175
7,5	0,437	0,397	0,243	0,278	0,307
10	0,437	0,431	0,365	0,418	0,453
15	0,439	0,431	0,423	0,423	0,428

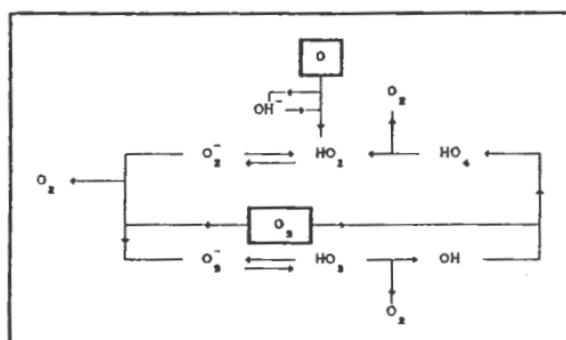


Figura 01 - Ciclo do Mecanismo de decomposição do Ozônio.  
(Glaze, 1987)

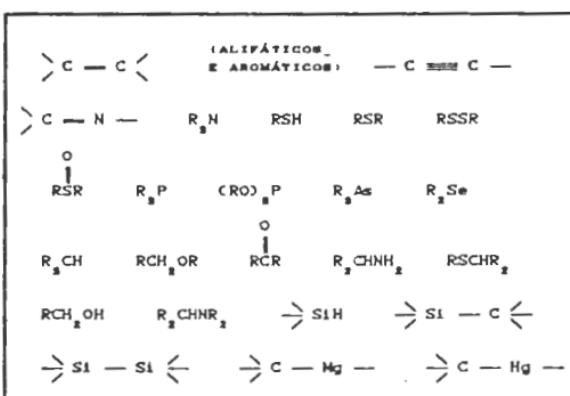


Figura 02 - Grupos Funcionais Orgânicos e Organo-Metálicos passíveis de Reação com o Ozônio.  
(Nebel, 1981)

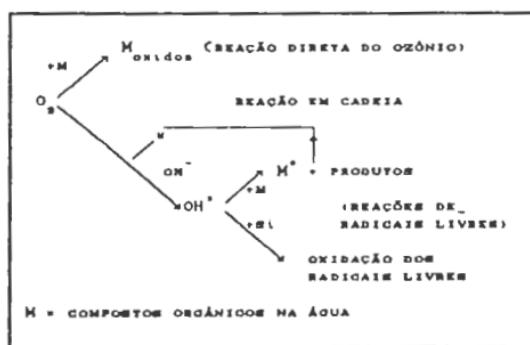


Figura 03 - Esquema de possíveis Reação do Ozônio com compostos Orgânicos presentes na Água.  
(Dore et al., 1989)

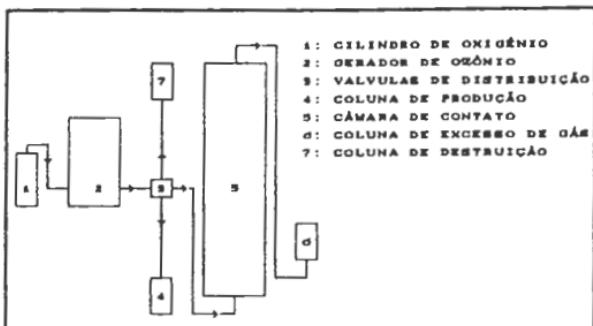


Figura 04 - Fluxogramma do Sistema de Ozonização

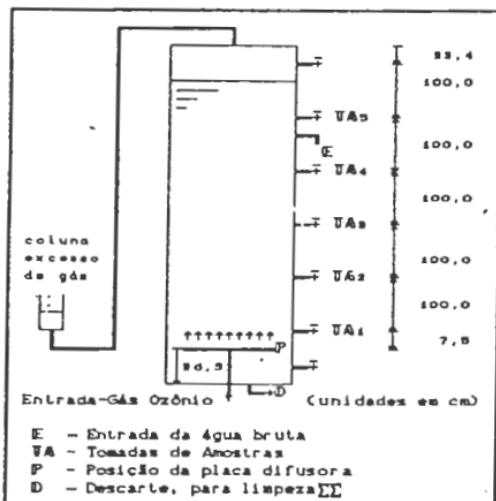


Figura 05 - Esquema da Câmara de Contato e da Coluna de Excesso de gás.

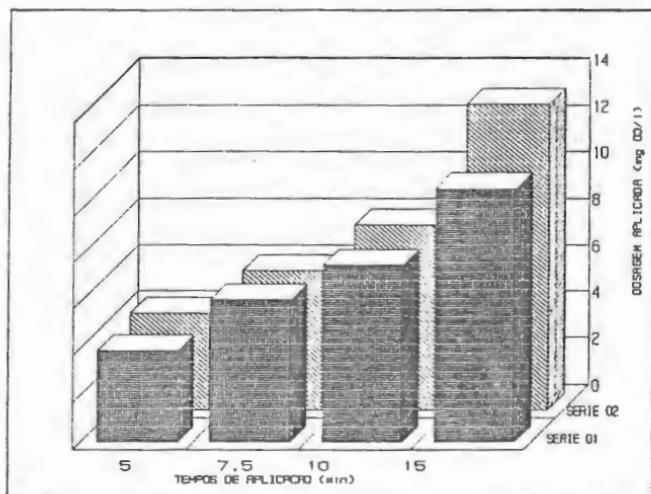


FIGURA 06 - DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO, NAS DUAS SÉRIES DE ENSAIOS, PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE CONTATO

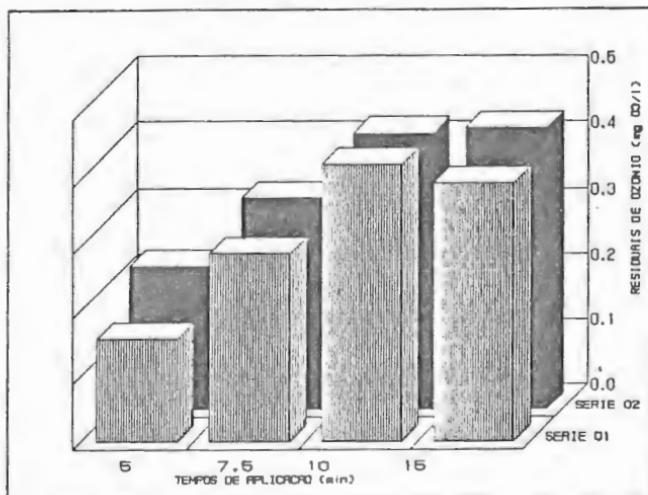


FIGURA 07 - TEOR RESIDUAL DE OZÔNIO NA ÁQUA, PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE CONTATO, PARA AS DUAS SÉRIES DE ENSAIOS

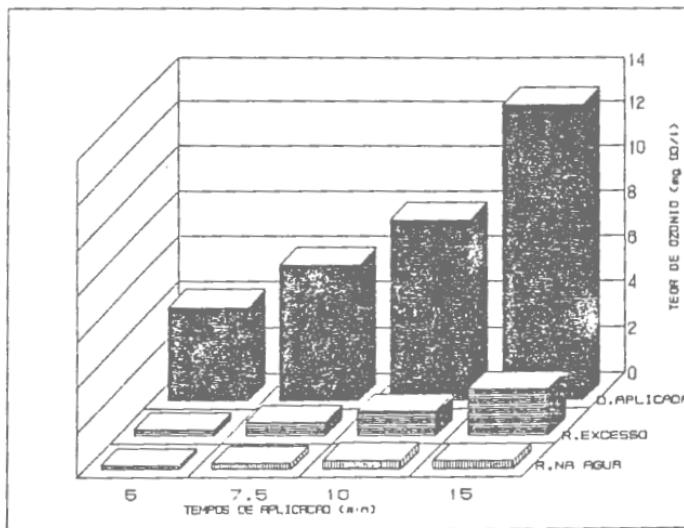


FIGURA 10 - RELAÇÃO ENTRE A DOSAGEM DE OZONIO APLICADO, E OS RESULTADOS DO TEOR RESIDUAL DE OZONIO NA ÁGUA E DE EXCESSO DETECTADO, PARA A SEGUNDA SÉRIE DE ENSAIOS

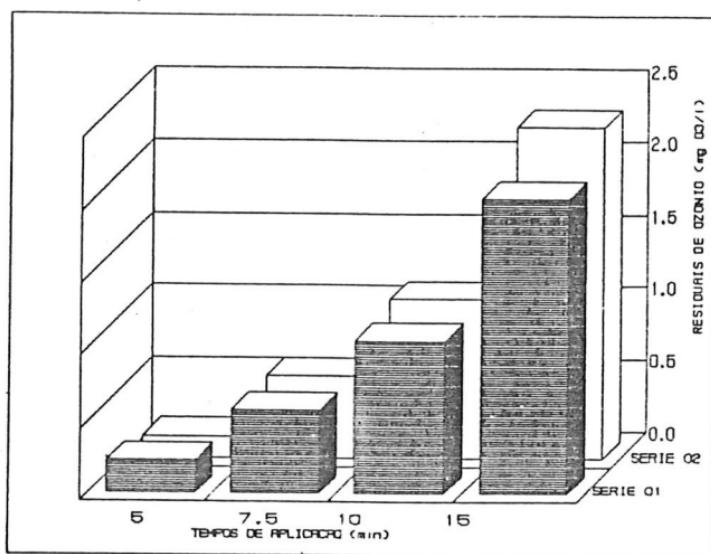


FIGURA 08 - TEOR RESIDUAL DE OZÔNIO DE EXCESSO, PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE CONTATO, PARA AS DUAS SÉRIES DE ENSAIOS

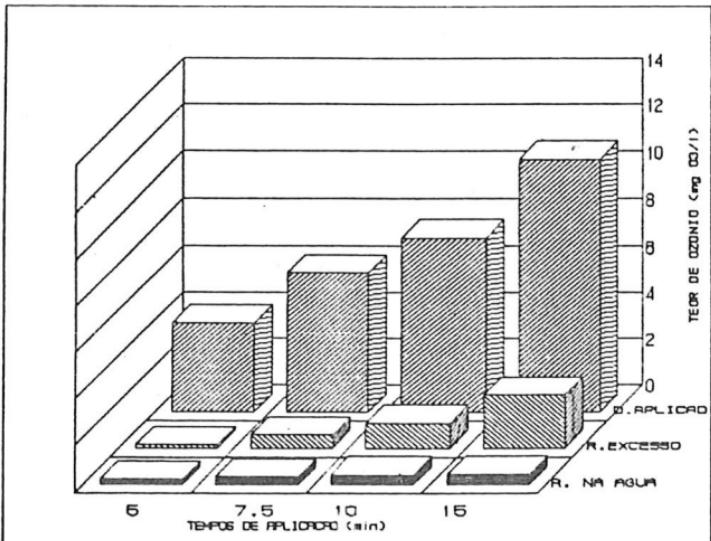


FIGURA 09 - RELAÇÃO ENTRE A DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO, E OS RESULTADOS DO TEOR RESIDUAL DE OZÔNIO NA ÁGUA E DE EXCESSO DETECTADO, PARA A PRIMEIRA SÉRIE DE ENSAIOS