

ABIATAR CASTRO DE OLIVEIRA

PREVENÇÃO E IMPORTÂNCIA DO CLORO NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REGIÃO SUL DA  
CAPITAL PAULISTA.

São Paulo

2015

ABIATAR CASTRO DE OLIVEIRA

PREVENÇÃO E IMPORTÂNCIA DO CLORO NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REGIÃO SUL DA  
CAPITAL PAULISTA.

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Especialista em Engenharia de  
Segurança do Trabalho

São Paulo

2015

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais  
Aparecida e Lisandro, a meus irmãos  
Amauri e Angélica, a minha esposa  
Rosemeire e minha filha Bárbara, meus  
companheiros, que com suas serenidades  
e sabedorias sustentam minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, na pessoa do Encarregado Josmar Ferreira Caetano, à empresa Unipar Carbocloro, nas pessoas da Engenheira Sílvia e do Técnico de Segurança do Trabalho Paulo e ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PECE/POLI, nas pessoas do Professor e Coordenador Sérgio Médici e da Professora e Gerente Renata, por acreditarem no desenvolvimento deste estudo, pela atenção a mim dispensada para a elaboração deste trabalho, bem como pela paciência e compreensão.

## RESUMO

Em época de crise hídrica jamais vivenciada na cidade de São Paulo, a importância do cloro transcende barreiras, tornando-se ainda mais imprescindível sua utilização, tendo em vista as situações críticas que se encontram alguns mananciais com elevada concentração de poluição das mais variadas fontes, principalmente proveniente de imóveis irregulares assentados no entorno das represas Guarapiranga e Billings, comprometendo-se por demais a qualidade de suas águas. Diante deste cenário, faz-se necessário por meio de pesquisa bibliográfica demonstrar as aplicações do cloro utilizado nas diversas etapas ou processos da Estação de Tratamento de Água Rodolfo José da Costa e Silva – ETA RJCS, responsável por abastecer 01 milhão de residências na região sul da capital paulista (aproximadamente 03 milhões e meio de pessoas), bem como apresentar proposta de prevenção e controle à etapa de recebimento, abastecimento e armazenamento do cloro dentro da estação, levando-se fundamentalmente em consideração a segurança dos operadores e da população residente no entorno.

Palavras-Chave: cloro. Água. Tratamento. segurança. pessoas.

## ABSTRACT

In times of water crisis ever experienced in the city of São Paulo, the importance of chlorine transcends barriers also becoming more essential use, in view of the critical situations that are some sources with high concentration of pollution from various sources, mainly from settlers irregular properties in the vicinity of Guarapiranga and Billings dams, committing too the quality of its waters. In this scenario, it is necessary by means of literature demonstrating the applications of chlorine used in the various steps or processes Water Treatment Plant Rodolfo José da Costa e Silva - RJCS ETA, responsible for supplying 01 million homes in the southern region the state capital (about 3 and a half million people), and submit a proposal to prevent and control the receiving step, supply and storage of chlorine inside the station, taking primarily into account the safety of operators and the resident population in surroundings.

Keywords: chlorine. Water. Treatment. safety. people.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 MANANCIAL.....	14
2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA.....	14
<b>2.2.1 Etapas ou Processos da Estação de Tratamento de Água na Estação.....</b>	<b>15</b>
2.2.1.1 Pré Cloração.....	15
2.2.1.2 Pré Alcalinização.....	15
2.2.1.3 Coagulação.....	15
2.2.1.4 Floculação.....	16
2.2.1.5 Decantação.....	16
2.2.1.6 Filtração.....	16
2.2.1.7 Cloração.....	16
2.2.1.8 Fluoretação.....	17
2.2.1.9 Análises laboratoriais.....	17
2.2.1.10 Bombeamento.....	17
2.3 QUALIDADE FÍSICA DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO.....	18
2.4 QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO.....	18
2.5 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	18
2.6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
2.7 O CLORO.....	19
<b>2.7.1 A História do Cloro.....</b>	<b>19</b>
<b>2.7.2 Produção do Cloro.....</b>	<b>22</b>

<b>2.7.3 Terminologias do Cloro.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7.4 Características gerais do Cloro.....</b>	<b>24</b>
2.7.4.1 Propriedades físicas.....	25
2.7.4.2 Propriedades químicas.....	27
<b>2.7.5 Ação do Cloro na Água.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.6 Influência da concentração de cloro residual livre e combinado e de outros fatores na eficiência de inativação de microorganismos.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.7 Emprego de cloro gasoso ou líquido.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.8 Suprimento de cloro.....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.9 Manuseio e Armazenamento.....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.10 Aplicação da solução de cloro na água a ser desinfetada.....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.11 Controle da dosagem de cloro.....</b>	<b>37</b>
<b>2.8 SEGURANÇA DO TRABALHO ENVOLVENDO O CLORO.....</b>	<b>38</b>
<b>2.8.1 Efeitos nocivos à saúde.....</b>	<b>38</b>
<b>2.8.2 Atenção ao fogo.....</b>	<b>38</b>
<b>2.8.3 Ação química.....</b>	<b>39</b>
<b>2.8.4 Ação corrosiva.....</b>	<b>39</b>
<b>2.8.5 Expansão volumétrica.....</b>	<b>39</b>
<b>2.9 EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE DE CLORO.....</b>	<b>39</b>
<b>2.9.1 Normas de Transporte.....</b>	<b>40</b>
<b>2.9.2 Especificações de cilindros e tanques.....</b>	<b>40</b>
<b>2.9.3 Identificação e Rotulagem.....</b>	<b>40</b>
<b>2.9.4 Embalagens.....</b>	<b>41</b>
<b>2.10 TRANSPORTE, MANUSEIO E ESTOCAGEM DE CILINDROS COM CLORO.....</b>	<b>42</b>

<b>2.10.1 Embarque de cilindros pequenos.....</b>	<b>42</b>
<b>2.10.2 Embarque de cilindros grandes.....</b>	<b>43</b>
<b>2.10.3 Movimentação.....</b>	<b>43</b>
<b>2.10.4 Armazenagem.....</b>	<b>44</b>
<b>2.10.5 Manuseio.....</b>	<b>45</b>
2.10.5.1 Descarga de gás.....	45
2.10.5.2 Descarga de Líquido.....	46
2.10.5.3 Pesagem.....	47
2.10.5.4 Conexão.....	47
2.10.5.5 Retorno de Processo.....	48
2.10.5.6 Desconexão do cilindro.....	48
2.10.5.7 Descarga de vagões multitanques.....	48
<b>2.11 VÁLVULAS PARA CAMINHÕES E VAGÕES-TANQUE.....</b>	<b>49</b>
<b>2.12 DESCARGA DE CAMINHÕES E VAGÕES-TANQUE.....</b>	<b>50</b>
<b>2.12.1 Conexões e Desconexões.....</b>	<b>52</b>
<b>2.12.2 Tubulações flexíveis.....</b>	<b>52</b>
<b>2.12.3 Flanges, juntas e parafusos.....</b>	<b>53</b>
<b>2.12.4 Tubos, Curvas e Tês.....</b>	<b>53</b>
<b>2.12.5 Retorno.....</b>	<b>54</b>
<b>2.12.6 Limpeza e secagem.....</b>	<b>54</b>
<b>2.12.7 Controle de estanqueidade.....</b>	<b>55</b>
<b>2.12.8 Inspeções.....</b>	<b>55</b>
<b>2.13 EMERGÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>2.13.1 Incêndios.....</b>	<b>57</b>

<b>2.13.2 Vazamentos.....</b>	<b>58</b>
<b>2.13.3 Retorno de cilindros/tanques avariados.....</b>	<b>59</b>
<b>2.13.4 Preparativos para manuseios de cloro em regime de emergência.....</b>	<b>60</b>
<b>2.13.5 Kit de emergência.....</b>	<b>61</b>
<b>2.13.6 Acidentes.....</b>	<b>61</b>
<b>2.13.7 Primeiros Socorros.....</b>	<b>63</b>
<b>2.14 ENGENHARIA / INSTALAÇÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>2.14.1 Definição do local de armazenamento.....</b>	<b>64</b>
<b>2.14.2 Edifícios.....</b>	<b>65</b>
<b>2.14.3 Ventilação.....</b>	<b>65</b>
2.14.3.1 Entrada de ar.....	65
2.14.3.2 Exaustores.....	66
<b>2.14.4 Tubulações.....</b>	<b>66</b>
2.14.4.1 Materiais de construção.....	66
2.14.4.2 Geral.....	66
2.14.4.3 Expansão do líquido.....	67
2.14.4.4 Condensação.....	67
2.14.4.5 Instalações.....	67
2.14.4.6 Limpeza.....	68
2.14.4.7 Teste hidrostático.....	68
2.14.4.8 Secagem.....	68
2.14.4.9 Teste com gás.....	69
<b>2.14.5 Cloro úmido.....</b>	<b>69</b>
<b>2.14.6 Vaporizadores.....</b>	<b>69</b>
<b>2.14.7 Tanques estacionários.....</b>	<b>70</b>

<b>2.14.8 Despejos de resíduos.....</b>	<b>70</b>
2.15 LIMPEZA E REPARO.....	71
<b>2.15.1 Reparo de equipamentos.....</b>	<b>71</b>
<b>2.15.2 Entradas de tanques.....</b>	<b>71</b>
<b>2.15.3 Limpeza de linhas de equipamentos.....</b>	<b>72</b>
<b>2.15.4 Reparos externos.....</b>	<b>73</b>
2.16 SEGURANÇA E HIGIENE.....	73
<b>2.16.1 Medidas Preventivas.....</b>	<b>73</b>
<b>2.16.2 Plano de Controle de Emergência (PCE).....</b>	<b>74</b>
<b>2.16.3 Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC).....</b>	<b>76</b>
<b>2.16.4 Equipamentos de Proteção Individual (EPI).....</b>	<b>77</b>
2.16.4.1 Aparelho Autônomo para respiração.....	78
2.16.4.2 Máscara Individual tipo “Canister”.....	78
2.17 TOXICOLOGIA E PRIMEIROS SOCORROS.....	80
<b>2.17.1 Inalação de cloro.....</b>	<b>81</b>
<b>2.17.2 Derrame do cloro sobre o corpo.....</b>	<b>83</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>85</b>
3.1 ESTUDO DE CASO.....	85
<b>3.1.1 Visitações.....</b>	<b>85</b>
<b>3.1.2 Dificuldades para o tratamento na ETA RJCS.....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.3 Descrição do Sistema de dosagem de cloro na ETA RJCS.....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.4 Desinfecção na ETA RJCS.....</b>	<b>91</b>
<b>3.1.5 Processos do tratamento de água que há aplicação do cloro.....</b>	<b>92</b>
3.1.5.1 Chegada da água bruta na ETA RJCS.....	92
3.1.5.2 Sistema de coagulação / floculação da ETA RJCS.....	92
3.1.5.3 Sistema de decantação da ETA RJCS.....	93
3.1.5.4 Sistema de filtragem da ETA RJCS.....	93
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>95</b>

<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Fundamental para o desenvolvimento humano, o cloro está muito presente no nosso dia a dia. O mais comum é associá-lo a água. Devido ao seu poder bactericida, é utilizado no tratamento de água e no saneamento básico desde 1908, assegurando saúde e qualidade de vida à população.

Ao mesmo tempo em que o faz fundamental na Estação de Tratamento de Água, existem riscos envolvidos na presença do cloro que necessitam ser mitigados com ações que visem à prevenção contra vazamentos dos tanques ou pelas conexões a eles fixadas, podendo-se dependendo da intensidade, causar danos irreversíveis à saúde ou até mesmo à morte de operadores e de moradores vizinhos à Estação.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é destacar a importância da necessidade de implantação de método de controle para neutralização de vazamento de cloro, visando a segurança dos trabalhadores e da população do entorno.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Diante de minha observação em visita realizada à ETA RJCS, foi constatada condição de vulnerabilidade em ambiente externo com cloro, propondo-se a construção de abrigo totalmente fechado para o acondicionamento ou confinamento dos tanques com cloro trazidos em carretas pelo fornecedor, com sistema exaustor para transportar o gás cloro em caso de vazamento para reservatório intermediário, e deste, interligado por tubulação, fará mistura com soda cáustica de outro reservatório, formando-se assim o hipoclorito de sódio, que será utilizado nos Processos de Tratamento de Água da Estação, neutralizando-se assim os riscos às pessoas e quaisquer tipos de perdas de subprodutos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo o Sistema de avaliação da qualidade da água, saúde e saneamento, Água Brasil, pertencente ao Ministério da Saúde, a seguir são demonstrados os significados de cada etapa do tratamento de água de abastecimento:

### 2.1 MANANCIAL

É a fonte de onde se retira a água. Pode ser subterrâneo, no caso de poços ou superficial no caso de rio, córrego, ribeirão, lago, lagoa, açude, represa etc., que têm o espelho d'água na superfície do terreno.

### 2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água é iniciado nas barragens, através da proteção aos mananciais com objetivo principal de se evitar a poluição da água por detritos, impurezas e mesmo lançamentos de origem doméstica, agrícola ou industrial, que desta ou daquela maneira, alteram a qualidade dos mesmos. Deve-se haver controle hidrobiológico do crescimento excessivo de algas e outros microorganismos, através de análises de rotina. Nestes casos é realizada desinfecção do manancial com sulfato de cobre, hipoclorito de sódio ou cloro residual, a depender da análise química da água, antes de ser captada e encaminhada para a Estação de Tratamento.

A função precípua das Estações de Tratamento de Água – ETAs consiste, em última instância, em tornar a água potável, ou seja, adequar suas características ao padrão de consumo segundo a legislação de potabilidade. Os tipos de tratamento da água podem ser compreendidos em:

- Convencional: tratamento da água bruta pelos processos de floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação, antes de ser distribuída à população;
- Não convencional: tratamento da água bruta por clarificador de contato, estações de tratamento de água compactas, pressurizadas ou não, filtragem rápida etc.;
- Simples desinfecção (cloração): tratamento da água bruta que recebe apenas o composto cloro antes de sua distribuição à população.

Neste trabalho será abordado o tipo de tratamento de água Convencional, instalação que apresenta unidades distintas responsáveis pelos processos e operações unitárias inerentes ao tratamento. Um dos objetivos dos processos de tratamento é a desinfecção, que consiste na inativação dos microorganismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos.

## **2.2.1 Etapas ou Processos da Estação de Tratamento de Água na Estação**

### **2.2.1.1 Pré Cloração**

Adição de cloro assim que a água chega à estação para facilitar a retirada de matéria orgânica e metais.

### **2.2.1.2 Pré Alcalinização**

Adição de cal ou soda à água para ajustar o pH aos valores exigidos para as fases seguintes do tratamento.

### **2.2.1.3 Coagulação**

Adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma agitação violenta da água para provocar a desestabilização elétrica das partículas de sujeiras, facilitando sua agregação.

#### 2.2.1.4 Floculação

É o processo no qual a água recebe substâncias químicas, que pode ser o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, entre outras. Este produto faz com que as impurezas da água reajam com a substância química, formando compostos mais pesados, flocos, para serem facilmente removidos no processo seguinte.

#### 2.2.1.5 Decantação

Nesta etapa, como os flocos de sujeira são mais pesados do que a água, caem e se depositam no fundo do decantador. O período médio de retenção da água nesses tanques é de três horas.

#### 2.2.1.6 Filtração

Nesta fase, a água passa por várias camadas filtrantes, compostas por areias de granulometria variada, onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A água então fica livre das impurezas. Estas três etapas: floculação, decantação e filtração recebem o nome de clarificação. Nesta fase, todas as partículas de impurezas são removidas deixando a água límpida. Mas ainda não está pronta para ser usada. Para garantir a qualidade da água, após a clarificação é feita a desinfecção.

#### 2.2.1.7 Cloração

Consiste na adição de cloro na água clarificada. Este produto é usado para destruição de microorganismos presentes na água, que não foram retidos na etapa anterior. O cloro é aplicado em forma de gás ou em soluções de hipoclorito, numa proporção que varia de acordo com a qualidade da água e de acordo com o cloro residual que se deseja manter na rede de abastecimento. O cloro é utilizado para desinfecção, para reduzir gosto, odor e coloração da água, e é considerado indispensável para a potabilização da água. O cloro é um produto perigoso e exige cuidado no seu manuseio. A associação do cloro com algumas substâncias orgânicas, os chamados trihalometanos, ou compostos orgânicos clorados, podem afetar o sistema nervoso central, o fígado e os rins, e também é conhecido como um composto cancerígeno, teratogênico e abortivo.

#### 2.2.1.8 Fluoretação

Trata-se de etapa adicional. O produto aplicado tem a função de colaborar para redução da incidência da cárie dentária.

#### 2.2.1.9 Análises laboratoriais

Laboratório que processa análises e exames físico-químicos e bacteriológicos destinados à avaliação da qualidade da água, desde o manancial até o sistema de distribuição. Além disso, pode existir um laboratório especial que faz a aferição de todos os sistemas e também realiza exames como a identificação de resíduos de pesticidas, metais pesados e plâncton. Esses exames são feitos na água bruta, durante o tratamento e em pontos da rede de distribuição, de acordo com o que estabelece a legislação em vigor.

#### 2.2.1.10 Bombeamento

Concluído o tratamento, a água é armazenada em reservatórios e segue até as residências através de canalizações.

### 2.3 QUALIDADE FÍSICA DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO

Consiste na identificação de parâmetros que representem, de forma indireta, a concentração de sólidos - em suspensão ou dissolvida - na água. Esse indicador revela, por um lado, a qualidade estética da água, cuja importância sanitária reside no entendimento de que águas com inadequado padrão estético, mesmo microbiologicamente seguro, podem conduzir os consumidores a recorrerem a fontes alternativas menos seguras. Por outro lado, águas com elevado conteúdo de sólidos comprometem a eficiência da desinfecção, ou seja, podem se mostrar associados à presença de microorganismos.

### 2.4 QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO

É aferida pela própria identificação do componente na água, por meio de métodos laboratoriais específicos. Tais componentes químicos não devem estar presentes na água acima de certas concentrações determinadas com o auxílio de estudos epidemiológicos e toxicológicos. As concentrações limites toleráveis significam que a substância, se ingerida por um indivíduo com constituição física mediana, em certa quantidade diária, durante um determinado período de vida, adicionada à exposição esperada da mesma substância por outros meios (alimento, ar, etc.), submete esse indivíduo a um risco inaceitável de acometimento por uma enfermidade crônica resultante.

### 2.5 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo(s) responsável(is) pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção dessa condição.

## 2.6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

É um dos instrumentos de verificação da potabilidade da água e de avaliação dos riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água possam representar para a saúde humana.

## 2.7 O CLORO

Segundo a ABICLOR – Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e cloro derivados, em seu Manual de Cloro (1989) e também segundo Di Bernardo e Dantas (2005), serão demonstradas todas as informações referentes ao cloro desde sua origem, produção, características, inclusive seus aspectos de Segurança e Higiene do Trabalho.

### 2.7.1 A História do Cloro

Segundo a ABICLOR – Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e cloro derivados:

- Na antiguidade, as lixívias cáusticas já eram conhecidas e foram utilizadas pelos egípcios na fabricação de sabões grosseiros. As lixívias cáusticas para as indústrias domésticas da antiguidade eram obtidas das “Tronas” do Egito

(sais sódicos naturais contendo carbonato de sódio) ou das “Barrilhas” da Espanha, provenientes de cinzas de certas algas marinhas.

- Em 1750, o químico escocês Black descobriu o processo de produção da lixívia de soda cáustica, pela adição de cal a solução de carbonato de sódio. Em 1791, surgiu o método patenteado do médico francês Nicolás Leblanc, para produção de carbonato de sódio artificial a partir do sal comum, que impulsionou o processo de obtenção industrial da soda cáustica. Sua ideia baseou-se na transformação de cloreto de sódio em sulfato de sódio, pela ação do ácido sulfúrico. O sulfato de sódio formado era decomposto com calcário dando origem ao carbonato de sódio, matéria prima para a soda cáustica do processo citado.
- O cloro tornou-se conhecido a partir de 1774, graças à descoberta do químico sueco Scheele. Mais tarde, em 1789, o químico francês Berthollet divulgava o termo “água de lavanderia” para designar a solução de hipoclorito de sódio, graças à sua condição alvejante.
- Em princípios de 1800, o cloro foi obtido através da eletrólise do cloreto de sódio, processo mundialmente usado até dos dias atuais.
- A primeira fábrica de soda cáustica, propriamente dita, foi construída somente em 1844, em Glasgow, Escócia. Em 1861, Ernest Solvay patenteou um novo processo: consistia na obtenção do bicarbonato de sódio pela passagem de amônia e gás carbônico através de uma solução de cloreto de sódio seguida da produção do carbonato de sódio, pelo aquecimento do bicarbonato de sódio. Pela adição da cal ao carbonato de sódio obteve, então, a soda cáustica. Em 1865 a Société Solvay iniciou sua produção em escala industrial.

- O processo Leblanc foi abandonado, depois de ter alcançado seu apogeu em 1883 e o processo Solvay foi, gradativamente, substituído pelo processo eletrolítico, hoje largamente utilizado em todo o mundo.
- O processo eletrolítico começou a ser desenvolvido depois de conhecidas às leis da eletrólise e do advento do dínamo como fornecedor de corrente contínua (Siemens/1865). Na ocasião, o problema maior era manter separados o cloro e o hidróxido de sódio ao serem dissociados pela eletrólise.
- A primeira produção de soda cáustica em escala industrial pelo processo eletrolítico, com célula de diafragma, foi realizada em 1890 por Stroof, Parnicke e os irmãos Lang na Griesheim Elektron AG, Alemanha. Outros processos foram estudados até se chegar, nos Estados Unidos, ao desenvolvimento da célula Hooker.
- Já a célula com catodo de mercúrio, foi inventada independentemente, em 1892 por Castner nos Estados Unidos e Kellner na Áustria, mas não se expandiu, na ocasião, por problemas técnicos. Somente a partir de 1935, durante a última guerra mundial, é que esta tecnologia foi aperfeiçoada por I.G. Farben na Alemanha, que desenvolveu a célula com reciclo de mercúrio.
- No Brasil, a primeira fábrica com células de diafragma surgiu em 1934, na empresa Eletroquímica Fluminense, enquanto que com células a mercúrio a primeira foi à empresa Eletrocloro (atual Solvay Indupa do Brasil) em 1948.
- Na década de 70, empresas que buscavam novas alternativas para fabricação de soda cáustica com baixo teor de cloretos e sem utilização de mercúrio, desenvolveram a tecnologia de célula de membrana. O processo foi iniciado pela Du Pont com o desenvolvimento de membranas perfluorsulfônicas (Nafion 324), através das quais já no início, era possível

produzir comercialmente lixívia de soda cáustica com teor de 10% a 20% de hidróxido de sódio em peso.

- No Japão este tipo de célula também teve rápido desenvolvimento. Em 1975, a Asahi Glass desenvolveu uma membrana perfluorcarboxílica capaz de produzir solução de soda cáustica a 35% em peso. A primeira fábrica no Brasil a utilizar esta tecnologia foi uma unidade da Aracruz Celulose, em 1981.
- O uso do cloro líquido na indústria pode ser dividido em três períodos: o primeiro iniciado em 1888, com aplicação em grande escala no branqueamento de fibras de tecidos; o segundo a partir da Primeira Guerra Mundial, em que foi usado como gás de guerra e como componente do líquido de Dakin para desinfetante; o terceiro iniciado em meados de 1930 é caracterizado pela aplicação de cloro na fabricação de produtos químicos e petroquímicos, na indústria têxtil e de papel e celulose, além do tratamento de água.

### **2.7.2 Produção do Cloro**

Ainda segundo a ABICLOR – Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e cloro derivados, o cloro é produzido pela passagem de uma corrente elétrica através de uma solução de salmoura (sal comum dissolvido em água). Este processo é chamado de eletrólise. Os subprodutos gerados são a soda cáustica (hidróxido de sódio) e o hidrogênio ( $H_2$ ). Para cada tonelada de cloro, são produzidas 1,1 toneladas de soda cáustica e 0,03 toneladas de hidrogênio. O cloro possui aparência inicial de um gás amarelo-esverdeado, com odor forte e característico.

O gás cloro é pressurizado à baixa temperatura para ser liquefeito, transformando-se em um líquido claro de cor âmbar.

O cloro é um produto presente no dia a dia da sociedade, sendo utilizado extensivamente na fabricação de PVC, no tratamento de água potável e de piscinas, no tratamento de esgotos, na fabricação de solventes clorados e de agroquímicos e como intermediário na produção de poliuretanos. Também é usado na obtenção de diversos produtos químicos, como: anticoagulantes, lubrificantes, fluidos para freios, fibras de poliéster, insumos farmacêuticos, entre outros.

É empregado ainda como matéria-prima no processo produtivo do cloreto de hidrogênio, do ácido clorídrico, do hipoclorito de sódio e do dicloroetano.

São três as tecnologias de produção de cloro: células de diafragma, células de membrana e células de mercúrio. No Brasil, a tecnologia mais utilizada pelo setor de cloro e soda é a de diafragma, que corresponde a 63% da capacidade instalada, sendo 9% diafragma sem asbestos e 54% com crisotila. Em seguida vem a tecnologia de membrana (23%) e a de mercúrio (14%).

### **2.7.3 Terminologias do Cloro**

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), estão demonstradas abaixo as terminologias do cloro:

Cloro: elemento químico em qualquer estado ou condição.

Cloro líquido: gás comprimido liquefeito como é distribuído comercialmente.

Cloro gasoso: cloro seco no estado gasoso.

Cloro seco: cloro líquido ou gasoso contendo de 20 a 150 ppm (partes por milhão) de água em peso.

Cloro comercial: gás comprimido não inflamável. O cloro em cilindros e tanques encontra-se tanto na fase líquida como gasosa. Todos os cilindros e tanques

utilizados estão regulamentados por normas brasileiras (NBR 315) para “Distribuição/Manuseio de Cloro”. É de responsabilidade do embarcador, do transportador e do usuário o perfeito conhecimento desta Norma. Companhias seguradoras podem ter requisitos especiais e devem ser consultadas antes de ser iniciada qualquer operação que envolva o transporte e manuseio de cloro.

#### 2.7.4 Características gerais do Cloro

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), o cloro assume os três estados físicos: à temperatura e pressão normais ocorre como um gás verde-amarelado, facilmente detectável pelo seu cheiro extremamente irritante e penetrante, tóxico e com odor pungente, que se liquefaz em um líquido de cor âmbar. Irrita as vias respiratórias em contrações da ordem de 3 ml/m<sup>3</sup> ar e chega a ser fatal na concentração de 1 ml/m<sup>3</sup> ar. O cloro sólido forma cristais rômnicos de cor amarela-pálido. No Quadro 1 são apresentadas as principais propriedades físico-químicas do cloro.

Quadro 1 – Características físico-químicas do cloro

Fórmula química (gás)	Cl <sub>2</sub>
Peso molecular	70,91
Ponto de fusão	-101 °C (pressão atmosférica normal)
Ponto de ebulição (líquido)	-34,05 °C (pressão atmosférica normal)
Densidade de vapor (ar = 1)	2,5
Densidade do líquido (água = 1)	1,4 a 15
Pressão de vapor	27,48 mmHg
Solubilidade em água (% Cl <sub>2</sub> em peso)	0,7% a 20%
Temperatura crítica	143,5 °C
Pressão Crítica	7,6 atm
Massa específica crítica	0,57 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica (líquido)	1,57 g/cm <sup>3</sup> ( t = -34 °C )

Massa específica (em relação ao ar)	2,5 vezes maior (gás)
Massa específica (em relação à água)	1,5 vezes maior (líquido)
Solubilidade em água	+/- 7 g/m <sup>3</sup> a 20°C e 1 atm
1 litro de cloro líquido	Transforma-se em cerca de 460L de gás à pressão atmosférica normal.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989):

- Em caso de vazamento o gás se encaminhará para o ponto mais baixo da área ou edifício onde este ocorrer.
- O cloro gasoso pode ser adsorvido em quantidades consideráveis em carvão ativado e em silicagel, sendo esta propriedade usada para concentrar cloro em misturas que o contém.
- O cloro é solúvel em água fria, geralmente em menor quantidade que em soluções aquosas. Em salmoura a solubilidade decresce com a concentração em sal e com a temperatura.
- Abaixo de 10°C o cloro toma hidratos sólidos em forma de cristais verde-amarelados, sem uma relação cloro-água bem definidos.
- Ao dissolver-se em água o cloro forma soluções de ácido clorídrico e hipocloroso.

#### 2.7.4.1 Propriedades físicas

Ainda segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), estão relacionados abaixo outras características importantes do cloro:

Ponto de ebulição (ou de Liquefação): é a temperatura na qual o cloro muda do estado líquido para o gasoso à pressão atmosférica (760 mmHg).

Fator de Compressibilidade: é o maior entre todos os elementos. O coeficiente volumétrico a 20°C por MPa é de 0,20% na faixa de 0 a 10 MPa.

Densidade crítica = 565 Kg/cm<sup>3</sup>. Massa de uma unidade de volume de cloro à temperatura e pressão críticas.

Pressão crítica = 76,63 Kg/cm<sup>2</sup>. Pressão de vapor de cloro líquido à temperatura crítica.

Temperatura crítica = 144°C. Temperatura acima da qual o cloro existe somente sob a forma de gás, independente da pressão aplicada.

Volume crítico = 0,00177 l/g. Volume de uma unidade de massa de cloro na pressão e temperatura críticas.

Densidade: A Massa de uma unidade de volume de cloro em condições normais de temperatura e pressão para gás anidro é de 3,209 g/l e para líquido é de 1,468 g/l a 0°C.

Ponto de congelamento: Temperatura na qual o cloro passa do estado líquido para o sólido, à pressão de uma atmosfera (-100,98 °C).

Calor latente de evaporação: O Calor necessário para evaporar uma unidade de peso de cloro é de 68,7 cal/g no ponto de ebulição (-34,05°C) à pressão atmosférica.

Relação de volume líquido-gás: Uma unidade de volume de cloro líquido produz 460 unidades de volume de gás em condições normais.

Pressão de vapor: Pressão de gás acima do cloro líquido, quando as duas fases estão em equilíbrio. A pressão do vapor do cloro é de 3,617 atmosferas (3,74 Kg/cm<sup>2</sup>).

Resistência específica (Resistividade): É o inverso da condutividade  $P > 10^{16}$  Ohms-cm a 70°C. O cloro líquido não é um condutor de eletricidade.

#### 2.7.4.2 Propriedades químicas

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), o elemento cloro existe na forma de dois isótopos de ocorrência natural com números de massa 35 e 37. É comum o cloro consistir de uma mistura destes isótopos da ordem de 76% de cloro 35 e 24% de cloro 37. Existem ainda quatro isótopos de cloro obtidos artificialmente. Suas principais propriedades químicas são:

Inflamabilidade: Cloro no estado líquido ou gasoso não é inflamável nem explosivo, entretanto, como o oxigênio, é capaz de sustentar a combustão de certas substâncias. Muitos compostos orgânicos reagem violentamente com o cloro.

Valência: Em geral o cloro forma compostos monovalentes porém pode combinar-se com valências +1, +3, +5 e +7.

Reações com metais: A velocidade de reação do cloro anidro com a maioria dos metais aumenta rapidamente acima da temperatura crítica do metal. Abaixo de 121 °C os metais ferro, chumbo, níquel, platina, prata e tântalo, não reagem com o cloro anidro, tanto no estado líquido como no gasoso. Na temperatura ambiente, o cloro anidro reage com alumínio, arsênio, ouro, mercúrio, selênio, telúrio e estanho. Em certas temperaturas, sódio e potássio queimam na presença do cloro em forma de gás. O ferro e o aço carbono podem inflamar-se a 251 °C na presença do cloro. O cloro hidratado, principalmente em consequência dos ácidos clorídrico e hipocloroso formados através de hidrólise, é bastante corrosivo aos metais comuns. Platina, prata e tântalo são resistentes. O titânio é atacado pelo cloro seco, mas não pelo cloro úmido.

Reações com outros elementos: Sob condições específicas, o cloro se liga a maioria dos elementos formando cloretos. Estas reações podem ser extremamente rápidas. Na sua temperatura de ebulição, o cloro reage com enxofre. Também reage, diretamente, com oxigênio ou nitrogênio. Os óxidos compostos nitrogenados de cloro são bastante conhecidos, porém são obtidos somente por métodos indiretos.

Reações com compostos inorgânicos: Os métodos de preparação do hipoclorito de sódio e de cálcio são reações típicas do cloro com hidróxidos de alcalinos e metais alcalino-terrosos. Os hipocloritos formados são fortes agentes oxidantes. Consequência de sua grande afinidade com o hidrogênio, o cloro retira deste algum de seus compostos, como por exemplo, na reação do sulfeto de hidrogênio, para formar ácido clorídrico e enxofre. Dependendo das condições de reação, o cloro reage com amônia ou seus compostos para formar várias misturas de cloraminas.

Reações com compostos orgânicos: O cloro reage com os compostos orgânicos tanto ou mais que com os inorgânicos, para formar derivados clorados e cloreto de hidrogênio. Algumas reações podem ser explosivas, nas quais se incluem as com hidrocarbonetos, álcoois e éteres. A velocidade dessas reações é aumentada pela luz, calor ou catalizador. O cloro reage vigorosamente com a amônia. Um excesso

de amônia produz cloreto de amônia, enquanto um excesso de cloro pode formar um composto explosivo, o tricloreto de nitrogênio (tricloroamina).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), o cloro tem grande afinidade com muitas substâncias, reagindo com quase todos os elementos e com a maioria dos compostos orgânicos e inorgânicos, normalmente com desprendimento de calor. Na natureza, encontra-se combinado a numerosos elementos, principalmente ao sódio e ao potássio. Conforme já relatado, sua produção resulta da eletrólise do cloreto de sódio em água, com o cloro desprendendo-se no anodo e o sódio depositando-se no cátodo, ocorrendo também, formação de soda cáustica, segundo a seguinte reação:



Além do cloro gasoso, é comum o uso de sais de cloro, principalmente do hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio.

As principais vantagens do uso do cloro são:

- inativa eficientemente uma grande variedade de microorganismos patogênicos encontrados na água;
- produz residual na água facilmente medido e controlado;
- é facilmente encontrado no mercado a custos razoáveis;
- manuseio relativamente simples e aplicação segura;

Os principais usos do cloro são:

- controle de sabor e odor;
- prevenção do crescimento de algas nas unidades da ETA;

- oxidação de ferro e manganês;
- destruição de sulfeto de hidrogênio;
- redução da cor e controle do crescimento de filmes biológicos em tubulações.

As principais desvantagens do cloro estão associadas ao fato de o cloro livre reagir com diversos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água para formar subprodutos indesejáveis e, em dosagens relativamente altas, causar sabor e odor na água.

Apesar de todos os cuidados requeridos no manuseio do cloro líquido/gasoso, podem ocorrer acidentes decorrentes de mau funcionamento de válvulas de fechamento ou armazenamento e instalação inadequada de cilindros.

### **2.7.5 Ação do Cloro na Água**

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a desinfecção pode ser o principal ou o único objetivo da cloração quando a água a ser tratada não recebeu qualquer forma de poluição (ou contaminação). No entanto, no caso de águas com qualidade inferior, como as poluídas, a cloração pode ser empregada com um objetivo adicional, aproveitando a ação oxidante do cloro, desde que a água não apresente precursores da formação de compostos tóxicos ao ser humano. Na água, o cloro age de duas maneiras:

- como desinfetante, para destruir ou inativar microorganismos patogênicos, algas e bactérias de vida livre, especialmente as ferro-redutoras do gênero *Crenothrix*;
- como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos.

### **2.7.6 Influência da concentração de cloro residual livre e combinado e de outros fatores na eficiência de inativação de microorganismos**

O composto de cloro livre de maior poder de desinfecção é o HClO (ácido hipocloroso), cuja porcentagem na água é função do pH e da temperatura, principalmente. Além desses dois fatores é comum, atualmente, considerar também a turbidez ou cor aparente, pois o tempo de contato depende muito dessas características da água para que a desinfecção seja eficiente. Quanto mais longo for o tempo de contato, maior será a eficiência de inativação para certa dosagem de cloro aplicado. As características hidrodinâmicas da unidade de desinfecção também afetam a eficiência da cloração.

Ao considerar o uso do cloro como desinfetante, os seguintes fatores devem ser levados em conta:

- dosagem de cloro aplicado;
- pH, temperatura, turbidez ou cor aparente da água de estudo;
- tempo teórico de contato;
- tipo de unidade de desinfecção e suas características hidrodinâmicas.

### **2.7.7 Emprego de cloro gasoso ou líquido**

Um sistema de cloração com o emprego de cloro gasoso ou líquido é composto, basicamente, de:

- área de armazenamento do produto em cilindros, carretas ou tanques estacionários;

- dispositivo de retirada e de controle da quantidade de cloro desejada (em estado gasoso ou líquido);
- equipamento de evaporação quando se tem a retirada de cloro líquido dos cilindros, carretas ou tanques estacionários;
- equipamento de dosagem de cloro gasoso;
- injetor e água para obtenção da solução de cloro;
- aplicação de cloro na água a ser desinfetada.

É de fundamental importância a compatibilização do injetor do clorador com a vazão de água e a respectiva pressão de entrada nesse dispositivo. O cloro, proveniente de carretas, é transferido para tanques estacionários e destes, para evaporadores; o cloro gasoso é dosado, resultando as soluções de cloro após os injetores, que são conduzidas para os respectivos locais de aplicação.

### **2.7.8 Suprimento de cloro**

O cloro comercial no Brasil é geralmente fornecido em cilindros de 54, de 68 ou de 900 Kg ou em carros-tanque de 18t. A adoção de um determinado tipo de recipiente depende, principalmente, do consumo de cloro previsto.

Os cilindros de 900 Kg apresentam duas tubulações para retirada de cloro:

- para retirada de cloro gasoso;
- para retirada de cloro líquido.

Como a pressão interna dos cilindros é geralmente da ordem de 6 a 8 atm, cada litro de seu conteúdo apresenta cerca de 1,25 Kg de cloro. Nas condições normais de

pressão e temperatura, o fluxo máximo de cloro possível de ser retirado na forma gasosa é da ordem de 18 Kg/d e 200 Kg/d nos cilindros de 68 Kg e 900 Kg, respectivamente. Sabendo o consumo de cloro na estação, é possível decidir pelo emprego de cilindros de 68 Kg, com retirada na forma gasosa, ou de 900 Kg, com retirada na forma gasosa ou líquida, ou de tanques estacionários e carretas. No Quadro 2 são apresentadas as recomendações sobre o uso do número de cilindros em paralelo quando é retirado o cloro na forma gasosa e sugere-se a retirada na forma líquida em cilindros de 900 Kg ou tanques estacionários e carretas.

Deve-se ressaltar que os cilindros em paralelo constituem uma linha, devendo-se dispor de outra linha de mesmo número de cilindros em paralelo. As tubulações individuais dos cilindros em paralelo são conectadas a uma tubulação comum de aço (geralmente do tipo "Schedule" 80), a qual veicula o fluxo total de gás necessário para satisfazer o consumo. As tubulações provenientes de cada linha possuem acessórios e se unem para conduzir o fluxo de cloro em gás aos dosadores; a troca de uma linha de cilindros em paralelo para outra pode ser efetuada manualmente ou por meio de dispositivos automáticos. No Quadro 2 é demonstrado o dimensionamento de cilindros por consumo diário de cloro.

Quadro 2 – Recomendações para o uso de cilindros de cloro em paralelo com retirada por via gasosa ou cilindros e tanques estacionários (ou carretas) por via líquida.

Consumo diário máximo de cloro (Kg/d)	Número de cilindros para retirada na forma gasosa		Número de cilindros (ou tanques) para retirada na forma líquida	
	Cilindro de 68 Kg em paralelo	Cilindro de 900 Kg em paralelo	Cilindro de 900 Kg em paralelo	Tanques estacionários ou carretas de 18 t.
≤ 15	1			
≤ 30	2			
≤ 50	3	1		
55 a 70	4	1		
75 a 100	5 a 6	1		
105 a 170		1		

180 a 360		2		
370 a 540		3	2 (*)	
550 a 720		4	2 (*)	
730 a 900		5	2 (*)	
910 a 1080		6	3 (*)	
1090 a 1260		7	3 (*)	
1270 a 1440		8	3 (*)	
1450 a 1800			3 (*)	
1810 a 3600			6 (*)	1 (*)
3610 a 5400				1 (*)
≥ 5500				≥ 1 (*)

(\*) necessita de evaporadores e de pessoal qualificado para operação e manutenção

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

### 2.7.9 Manuseio e Armazenamento

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), de acordo com a NBR 12216 (1992), nas instalações com consumo diário de cloro superior a 50 Kg deve ser previsto o uso de cilindros de 900 Kg, embora possam ser usados cilindros de 68 Kg, como observado em algumas estações de tratamento de água, pois o manuseio destes é mais simples que dos cilindros de 900 Kg. O manuseio de cilindros de cloro de 68 Kg (massa total de 120 Kg) é feito, geralmente, por meio de dispositivos relativamente simples. Quando são empregados os cilindros de 900 Kg e levando-se em conta que sua massa total é da ordem de 1600 Kg, há necessidade de dispositivos especiais para sua descarga e transporte, como talhas manuais ou elétricas.

Quando carretas são usadas para fornecer o cloro líquido aos evaporadores, tem sido comum a instalação de tanques estacionários, nos quais o cloro é mantido como reserva para suprir a instalação numa eventual falta de carretas. Entretanto,

quando o produtor se encontrar relativamente próximo ao consumidor, pode-se prescindir dos tanques estacionários, como acontece em algumas ETAs.

Sempre que for usado o cloro líquido ou gasoso será imprescindível o emprego de alguns dispositivos, como detectores de cloro providos de alarme, máscara de proteção, exaustores, lavador de gases, etc. Segundo a NBR 12216, as seguintes condições devem ser observadas com respeito ao armazenamento, dosagem e uso de cloro nas ETAs destinadas ao consumo humano:

- para ETAs com capacidade inferior a 10.000 m<sup>3</sup>/d, o armazenamento deve ser previsto para um período mínimo de atendimento de 30 dias;
- em ETAs com consumo de cloro inferior a 50 Kg/d, os cloradores e cilindros podem permanecer na mesma área e, em ETAs com consumo maior, devem ser previstas salas separadas para armazenamento e dosagem;
- a área de armazenamento e a sala de dosadores de cloro (e evaporadores, quando necessários) devem ser localizadas em área coberta; se forem fechadas com paredes a sua volta, a ventilação deve ser prevista, sendo que:
  - ✓ deve haver abertura natural por meio de aberturas até o piso;
  - ✓ além da ventilação natural, deve haver ventilação forçada, produzida por exaustor ou insuflador disposto de modo a obrigar que o ar atravesse, rente ao piso, todo o ambiente a ser ventilado;
  - ✓ a capacidade dos equipamentos deve ser tal que todo o ar do recinto seja renovado em, no máximo, 4 minutos;
  - ✓ as chaves ou interruptores dos aparelhos devem ser localizados externamente ao recinto;
  - ✓ as saídas de ventilação devem ser localizadas de modo a dissipar eventuais vazamentos para fora da sala e não incidirem sobre áreas externas confinadas;

- os cilindros devem ser protegidos da incidência direta da luz solar;
- os recintos de armazenamento de cilindros e dosadores de cloro devem apresentar portas que se abrem para fora, envidraçadas em sua parte superior, e serem dotados de abertura de ventilação sobre o pórtico;
- os cilindros de 900 Kg devem ser armazenados na posição horizontal e jamais ser superpostos; o espaçamento mínimo entre cilindros deve ser de 0,2m e a largura mínima de passagem, igual a 1,0m;
- os cilindros de 68 Kg, em uso ou armazenados, devem permanecer na posição vertical;
- o controle da quantidade de cloro disponível deve ser feito por meio de balança ou dispositivo indicador de pressão nos cilindros em uso.

Além dessas recomendações, deve-se ressaltar a necessidade, especialmente em ETAs de maior capacidade, de lavador de gases, detector de cloro com alarme, máscaras autônomas estrategicamente localizadas, etc.

É sempre recomendável que sejam consultados catálogos de fabricantes de talhas manuais ou elétricas e de trilhos antes da definição da altura do recinto de armazenamento de cilindros de 900 Kg. A talha, manual ou elétrica, deve ter capacidade mínima de 2 t (tonelada). As dimensões do recinto de armazenamento de cilindros de cloro de 68 Kg (ou de 54 Kg) dependem tanto do número de cilindro quanto daqueles de reserva para que o período mínimo de atendimento seja observado. O mesmo ocorre com cilindros de 900 Kg, cujo controle do consumo pode ser realizado por meio de balança.

#### **2.7.10 Aplicação da solução de cloro na água a ser desinfetada**

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), podem ser usados cloradores a vácuo ou de aplicação direta. No primeiro caso tem-se a produção de uma solução de cloro e, no segundo, de gás cloro, devendo ambos serem distribuídos uniformemente na água a ser desinfetada. Existem diferentes tipos de aplicação da solução de cloro em tubulação e em canal com escoamento livre. Quando não houver precursores de formação de subprodutos orgânicos clorados e a pré-desinfecção for necessária, a aplicação da solução de cloro pode ser feita na tubulação de água bruta ou na câmara de chegada à ETA. No caso da pós-cloração, a solução de cloro é aplicada após a água ter sido filtrada e, além da distribuição uniforme no local de aplicação, deve ser previsto um tempo de contato de, no mínimo, 10 minutos (recomendando-se 30 minutos) quando a cloração for feita com cloro livre. Para evitar problemas de curtos-circuitos, a câmara de contato deve ter escoamento tipo pistão, o que se consegue com o uso de chicanas, resultando canais nos quais a velocidade de escoamento deve ser superior a 0,1 m/s. A aplicação da solução de cloro também pode ser feita em tubulação ou canal sob pressão, utilizando tubulações providas de orifícios, denominadas difusores de solução de cloro.

Os difusores da solução de cloro devem ser dimensionados para velocidade nos orifícios superior a 2 m/s e apresentar perda de carga maior que 0,5m para garantir distribuição satisfatória no local de aplicação.

Quando se emprega o clorador de aplicação direta, são usados tubulações e difusores especiais para garantir a distribuição uniforme de gás cloro. Geralmente, a parte superior do canal é fechada para evitar perda de cloro e a lâmina líquida mínima de 1,2m localiza-se acima dos difusores. Em geral, esse tipo de aplicação acontece em situações de emergência.

### **2.7.11 Controle da dosagem de cloro**

O controle da dosagem de cloro em função da concentração de cloro residual é do tipo ação/reação, isto é, não ocorre qualquer modificação da dosagem a não ser que

o valor medido tenha de ser corrigido para se obter um valor preestabelecido. O controle da dosagem de cloro residual em pequenas instalações é efetuado por meio de coletas horárias de amostras na saída da câmara de contato. Em instalações maiores pode-se empregar um equipamento de controle da concentração de cloro residual em um ou mais pontos do sistema de abastecimento, após a câmara de contato ou mesmo em diferentes unidades da ETA, no caso da pré-cloração.

Em função da concentração de cloro residual previamente estabelecida, o analisador de cloro residual realiza a medição e envia um sinal ao clorador para que efetue a cloração, quando necessária.

## 2.8 SEGURANÇA DO TRABALHO ENVOLVENDO O CLORO

### 2.8.1 Efeitos nocivos à saúde

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), o cloro gasoso é agressivo em relação às mucosas do nariz, garganta e vias respiratórias, provocando ainda graves irritações nos olhos. Seus efeitos são proporcionais à sua concentração no ambiente e ao tempo de permanência no meio contaminado. Uma breve inalação do cloro, em forte concentração, pode provocar lesões brônquicas. Se a permanência na atmosfera contaminada se prolongar, poderá ocasionar um edema pulmonar agudo ao qual, fatalmente, sucederá a morte.

Os Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos estabelece os limites de 0,5ppm (TWA) e 1,0ppm (STEL) para o cloro (ACHIH).

### 2.8.2 Atenção ao fogo

O cloro não é inflamável ou explosivo, podendo, no entanto, sustentar a combustão de outras substâncias.

### **2.8.3 Ação química**

O cloro tem grande afinidade química com muitas substâncias. Pode reagir com a maioria dos elementos, com vários compostos orgânicos e inorgânicos, em alguns casos com explosão. Em temperaturas elevadas, reage, violentamente, com diversos metais.

### **2.8.4 Ação corrosiva**

À temperatura ambiente o cloro, tanto na forma líquida como gasosa, não ataca o aço. Na presença de umidade, entretanto, ocorrem severas condições de corrosão, com formação de ácido hipocloroso e clorídrico. Todas as precauções devem ser tomadas para evitar a presença de umidade tanto no cloro como no seu equipamento de manuseio. É imperioso que todo o equipamento utilizado na movimentação do cloro (tanques, cilindros, válvulas e tubulações) quando fora de uso, seja mantido fechado para impedir que a umidade do ar penetre no sistema. Nunca usar água sobre um vazamento de cloro, pois os efeitos da corrosão resultantes agravarão o vazamento.

### **2.8.5 Expansão volumétrica**

O volume de cloro líquido aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura. Precauções devem ser tomadas para evitar a ruptura dos recipientes cheios com cloro líquido, pelo aumento de pressão hidrostática em consequência do aumento de temperatura.

## 2.9 EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE DE CLORO

### 2.9.1 Normas de Transporte

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), é de responsabilidade do pessoal envolvido no despacho, transporte e uso do cloro conhecer a natureza da carga e o que fazer numa emergência. Todo o transportador de cloro deve dispor, no veículo transportador, de um protetor respiratório com cartucho químico específico para gases ácidos.

O kit de emergência, de acordo com a carga, é indicado por Norma Brasileira. O motorista deve receber treinamento específico para transporte do produto, onde está incluso o uso dos equipamentos previstos no decreto número 96.044, de 18/05/88. O roteiro do veículo deve ser pré-determinado evitando, quando possível, os centros populacionais, dando-se preferência às vias periféricas e avenidas de contorno. Os roteiros devem ser obedecidos e controlados pelo produtor ou transportador. As válvulas dos cilindros têm que ser protegidas com capacetes removíveis. No caso das carretas a proteção das válvulas é de responsabilidade dos proprietários das mesmas.

### 2.9.2 Especificações de cilindros e tanques

O cloro é comercializado em vários tipos de embalagens, dependendo do consumo e localização do consumidor. Os tipos de embalagens mais usadas no Brasil são cilindros de aço, caminhões tanques e vagões tanques. Em outros países utilizam-se também barcaças. Os cilindros e os tanques somente podem ser aprovados para o transporte de cloro quando projetados e construídos, estritamente, de acordo com a Norma Brasileira. Na inexistência desta, por norma internacionalmente aceita. O Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO ou firma credenciada pelo mesmo fornece Certificado de Capacitação.

### 2.9.3 Identificação e Rotulagem

Todo o tanque ou cilindro de 900 Kg de capacidade deve conter, em lugar legível, uma plaqueta de identificação, com a palavra cloro, o nome do fabricante, a data de fabricação, o número de ordem da fabricação e a tara, além dos dados de testes, sem o que não pode ser usado. Nos cilindros de 45 a 68 Kg as informações são gravadas na ogiva.

### 2.9.4 Embalagens

Os tipos de embalagens existentes são:

- Cilindros de 45 a 68Kg de capacidade (pequenos);
- Cilindros de 900 Kg de capacidade (grandes);
- Caminhões-tanques de 10 a 22t;
- Vagões-tanques de 30 a 50t; e
- Barcaças especiais de 600 a 1200t (não utilizadas no Brasil).

Os cilindros e tanques móveis devem ser fabricados em aço e dispor de razão do enchimento, definida como a relação percentual entre o peso do cloro contido em um recipiente (à pressão atmosférica de 18°C) e o peso máximo em água que o mesmo recipiente possa conter. É proibido o uso de indicadores de nível ou pressão de qualquer tipo. A razão de enchimento máximo permitido é de 125%. As unidades de transporte destinadas ao cloro só podem ser carregadas por peso.

Todos os equipamentos devem conter dispositivos de segurança, serem testados regularmente e totalmente retestados/inspecionados (cilindros 5 anos / carretas 2

anos) por firma devidamente qualificada, registrada no Conselho Regional de Engenharia - CREA da região e credenciada pelo INMETRO. Deve ser exigido o certificado do teste. Os cilindros acidentados, independente da extensão dos danos verificados, devem ser retirados de operação, inspecionados e retestados antes de retornarem ao serviço.

Todos os cilindros que apresentem sinais aparentes que suscitem dúvida sobre segurança ou corrosão devem ser retirados de operação para inspeção e teste completo.

## 2.10 TRANSPORTE, MANUSEIO E ESTOCAGEM DE CILINDROS COM CLORO

### **2.10.1 Embarque de cilindros pequenos**

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), os cilindros pequenos podem ser transportados em caminhões comuns, como carga total ou parcial. No caso de carga parcial, é necessário que a outra parte do caminhão seja composta de produtos compatíveis com o cloro. Seu transporte deve ser feito em pé ou ligeiramente inclinados de forma a garantir sua imobilização em caso de manobras bruscas ou acidentes.

A ondulação feita no piso da carroceria permite o adequado posicionamento dos cilindros atribuindo maior confiabilidade à fixação nos berços. O corredor central possibilita acesso aos cilindros, independente de remanejamento, além de facilitar o emprego do “kit” de segurança em emergências.

A disposição piramidal dos cilindros permite que os seus pesos se contraponham resultando maior segurança e estabilidade para o veículo. No meio dos berços forma-se um túnel favorável à circulação de ar. Quando em movimento, a corrente

de ar entre os cilindros serve para mantê-los refrigerados, criando condições adversas à expansão do cloro em seu interior.

### **2.10.2 Embarque de cilindros grandes**

A movimentação rodoviária de cilindros grandes só pode ser feita em caminhões com carrocerias adaptadas, ou especialmente projetadas, garantindo-se a imobilização dos cilindros, mesmo em caso de manobras bruscas ou acidentais. A movimentação ferroviária é executada em vagões multitanques dotados de uma estrutura metálica, onde podem ser acomodados 15 cilindros.

Os berços para cilindros grandes são de madeira, com reforços metálicos e fixados às longarinas através de grampos. Após serem acomodados nos berços, os cilindros são fixados com cabos de aço esticados por catracas.

Para carregamento misto de cilindros grandes e pequenos é necessário que sobre o cilindro grande feche-se uma haste onde se apoiem os cilindros pequenos. Desta forma o acesso a cada cilindro é independente, facilitando a vedação de possíveis vazamentos com o uso de “kit”.

### **2.10.3 Movimentação**

Por ser uma substância perigosa os cilindros com cloro devem ser manuseados com cuidado. A movimentação só deve ser feita com o capacete de proteção das válvulas. Os cilindros não podem ser golpeados com qualquer objeto ou deixados cair. Os cilindros de cloro devem ser manuseados por pessoal habilitado, devidamente treinado, com todas as instruções de emergência disponíveis em caso de acidente.

Para movimentação dos cilindros pequenos, recomenda-se a utilização de carrinhos de mão com dispositivos para prendê-los ao mesmo. Não se deve levantar ou carregar o cilindro pelo capacete de proteção da válvula, pois o mesmo não está projetado para suportar o esforço causado pelo peso do cilindro. Os cilindros grandes devem ser manuseados com o auxílio de uma barra elevatória, provida de ganchos especiais e talha manual, elétrica ou pneumática, com capacidade de carga adequada.

#### **2.10.4 Armazenagem**

A armazenagem dos cilindros pode ser feita em área coberta ou ao desabrigo. Se a armazenagem for feita ao desabrigo a área deverá ser mantida limpa e livre de materiais que possam se constituir em fonte de ignição. Os cilindros não devem ser armazenados próximos a elevadores ou sistemas de ventilação, para evitar que grandes concentrações de gás sejam espalhadas, rapidamente, e caso de vazamentos.

A armazenagem dos cilindros deve ser feita de maneira a evitar a corrosão externa. Na armazenagem ao desabrigo não é recomendável depositá-los diretamente sobre o solo. Para tanto se utilizam plataformas e sua instalação deve prever facilidade para inspeções regulares e pronta remoção em caso de vazamentos. Não se deve armazená-los em locais onde haja risco de caírem ou serem atingidos por veículos em tráfego ou manobras. A armazenagem em áreas abaixo da superfície (subsolo) também é desaconselhável.

Os cilindros não devem ficar expostos a chamas, radiação de calor intensa ou a tubulações de vapor com altas temperaturas. Se o cilindro for aquecido acima de 70°C na área dos “plugs”(fusíveis) estes se fundirão, deixando escapar o cloro. O calor localizado intenso aumenta a corrosão das paredes do cilindro.

Se o metal atingir 251°C poderá inflamar-se. Cilindros cheios são armazenados separados dos vazios apresentando placas de sinalização: “cheios” ou “vazios”.

Mesmo quando os cilindros estiverem vazios, os “caps” das válvulas e os capacetes de proteção devem ser mantidos no lugar. Enquanto os cilindros pequenos são armazenados de pé (nunca deitados) os cilindros grandes o serão na posição horizontal, em suportes próprios de metal ou concreto.

### **2.10.5 Manuseio**

Tanto os cilindros grandes como os pequenos devem ser utilizados pela ordem de recebimento, para que sejam mantidos na rotatividade regular do estoque.

Sob nenhum pretexto, tanto cilindros como válvulas ou dispositivos de segurança podem ser reparados, alterados, modificados ou usados de maneira diferente da recomendada, sem prévia consulta ao fornecedor ou fabricante.

#### **2.10.5.1 Descarga de gás**

Os cilindros pequenos fornecem cloro na forma gasosa quando na posição normal (de pé) e líquida quando na posição inversa (deitado).

Os cilindros grandes, na posição horizontal e com as válvulas alinhadas na posição vertical, fornecem gás na válvula superior e líquido na inferior.

A vazão do cloro depende da pressão interna do cilindro, que por sua vez, relaciona-se com a temperatura do cloro líquido. Este fenômeno faz com que a sua temperatura e, conseqüentemente, sua pressão de vapor diminua. Para vazão de descarga reduzida, o calor necessário é obtido do ar quente do ambiente e pode ser

mantido na vazão constante. Para grandes vazões de descarga, a temperatura e pressão do cilindro podem baixar pelo efeito do resfriamento causado pela evaporação do cloro e a vazão de descarga irá diminuindo até praticamente cessar.

Em vazões de descarga excessiva, a diminuição de temperatura do cilindro ocasionará a formação de uma camada de gelo em sua volta, que atua como isolante, diminuindo ainda mais a vazão de descarga. Esta pode ser aumentada pela circulação do ar ambiente ao redor do cilindro utilizando-se um ventilador. Em nenhuma hipótese, deve-se colocar o cilindro em banho de água quente ou aplicar calor diretamente sobre o mesmo.

A descarga regular e contínua que se pode obter de um cilindro pequeno, mantendo uma contrapressão de  $2,46 \text{ Kg/cm}^2$ , é de aproximadamente  $0,8 \text{ Kg/h}$ . Num cilindro grande, nas mesmas condições, é de aproximadamente  $6,8 \text{ Kg/h}$ . Para curtos períodos de descargas, estas vazões podem ser excedidas. Se a vazão de descarga de um cilindro for inferior à requerida para um determinado processo, dois ou mais cilindros poderão ser conectados a um mesmo “manifold”, ou então pode-se utilizar um vaporizador. Quando a descarga é feita em “manifold” de vários cilindros, estes devem estar à mesma temperatura para evitar a transferência de um cilindro para o outro.

#### 2.10.5.2 Descarga de Líquido

Para obter líquido de cilindro pequeno, é necessário invertê-lo com a válvula para baixo, utilizando um suporte próprio com um dispositivo de fixação do cilindro. Nos cilindros grandes, a descarga de líquido é feita através da válvula inferior. Na descarga do líquido a quantidade de cloro descarregada é muito superior à descarga de gás. A vazão depende da temperatura e compressão do cilindro.

A vazão de descarga regular e contínua à temperatura ambiente e na compressão de  $2,6 \text{ Kg/cm}^2$  é de pelo menos  $90 \text{ Kg/h}$  para os cilindros grandes. Para a descarga

de líquido é desaconselhada a conexão de mais de um cilindro em “manifold” comum, pois eventuais diferenças de pressão ou nível entre os cilindros pode ocasionar a transferência de cloro líquido para o cilindro de pressão reduzida ou em nível mais baixo em relação aos demais. Se este cilindro ficar completamente cheio de líquido e sua válvula ficarem fechados, haverá ruptura do cilindro causada pela expansão do líquido (pressão hidrostática).

#### 2.10.5.3 Pesagem

O conteúdo dos cilindros é determinado por diferença de peso.

#### 2.10.5.4 Conexão

A conexão entre os cilindros e a tubulação deve ser flexível, inspecionada regularmente e substituída, anualmente, ou assim que se apresente o primeiro sinal de desgaste/avaria.

Para conexão dos cilindros é recomendado o uso de adaptadores, utilizando-se uma nova junta para cada conexão. A reutilização de juntas, geralmente, origina vazamentos. Recomenda-se tubo de cobre em seção encurvada, para pressão de  $35,16 \text{ Kg/cm}^2$  e  $\varnothing = 9,52 \text{ mm}$  (3/8”).

Para abrir a válvula do cilindro, gira-se a haste no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, utilizando uma chave de boca quadrada de 9,52mm (3/8”) e de comprimento não superior a 15,24 cm (6”).

Normalmente, a válvula pode ser aberta sem esforço excepcional. Dificuldades para sua abertura significam que a gaxeta está excessivamente apertada. Neste caso, a

porca de aperto da gaxeta deve ser aliviada e reapertada, até que a válvula possa ser operada.

Para obter vazão máxima, basta abrir uma volta completa da válvula. Depois de completadas e justadas as conexões, a válvula de cloro pode ser aberta, verificando-se todas as conexões para vazamentos.

#### 2.10.5.5 Retorno de Processo

Quando o cloro é descarregado num processo, a sua absorção pode reduzir a pressão no interior do cilindro a ponto de haver retorno de líquido do processo para o cilindro. Este fenômeno deve ser evitado para prevenir acidentes, utilizando-se dispositivo de alívio de vácuo.

#### 2.10.5.6 Desconexão do cilindro

Assim que um cilindro estiver vazio, a válvula deve ser fechada e a conexão desligada, conectando-se o “cap” da válvula do cilindro e procedendo-se a colocação, imediata, do capacete de proteção. A conexão desligada deve ser fechada com um “plug” ou “cap” para prevenir a entrada de umidade no sistema.

#### 2.10.5.7 Descarga de vagões multitanques

Os cilindros grandes dos vagões multitanques só podem ser descarregados em terminais equipados com suportes adequados para armazenagem segura dos cilindros. O transporte intermediário entre o terminal ferroviário e o ponto de uso, pode ser efetuado por unidades especiais, onde os cilindros sejam mantidos fixos com segurança.

A descarga dos vagões multitanques só pode ser iniciada após a aplicação dos freios e a colocação dos sinais e placas de advertência. Na descarga dos cilindros utilizam-se guindastes ou dispositivo com capacidade para elevá-los acima do corrimão do vagão, sem necessidade de removê-lo para descarga. Para estabelecer o dispositivo de descarga mais adequado torna-se necessário consultar o operador.

Para o retorno dos cilindros grandes (vazios) estes devem ser colocados em número de 15, fixados no vagão e despachados de acordo com a orientação do fornecedor de cloro e da mesma maneira que os vagões-tanque.

## 2.11 VÁLVULAS PARA CAMINHÕES E VAGÕES-TANQUE

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), possuem quatro válvulas angulares, uma válvula de segurança e quatro de bloqueio de vazão excessiva, montadas na tampa de visita e dentro do domo de proteção. As válvulas angulares obedecem ao padrão do “Chlorine Institute”. O corpo da válvula é de aço forjado e a haste de “Monel”. A saída é uma conexão rosqueada fêmea de 25,4mm (1”) e protegida por um “plug” de segurança.

As duas válvulas angulares, localizadas na linha do centro longitudinal ao tanque, são para descarga do líquido. As outras duas, localizadas na linha do centro transversal, estão conectadas ao espaço de vapor do tanque.

Oposto a cada válvula angular existe uma abertura no domo de proteção, através da qual são feitas as conexões de descarga. Sob cada válvula angular de líquido está conectado um tubo pescador que vai até o fundo do tanque. Este tubo está conectado à válvula angular por meio de uma válvula de bloqueio de excesso de vazão projetada para fechar-se quando a vazão de cloro líquido exceder a 3200 Kg/h (existem válvulas com ponto de fechamento diferente). Este é um dispositivo de

proteção projetado para fechar a descarga de cloro em caso de vazão excessiva, por quebra acidental da válvula angular e/ou da sua tubulação.

As válvulas de segurança do tipo de mola carregada estão combinadas com um pino de ruptura e são calibradas para operar a 15,82 ou 26,37 Kg/cm<sup>2</sup>. Esta pressão de alívio tem que estar marcada na placa de identificação do tanque.

## 2.12 DESCARGA DE CAMINHÕES E VAGÕES-TANQUE

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), a capacidade dos vagões-tanque utilizadas no Brasil é de 44 toneladas. A dos caminhões-tanque (semi-reboque) varia de 10 a 22 toneladas estando subordinadas ao limite de carga admitido nas estradas de rodagem.

Ao contrário dos cilindros grandes e pequenos a descarga de cloro gasoso não é considerada, mas somente a de cloro líquido. O isolamento térmico do tanque restringe a transferência de calor do ar para o mesmo, limitando a evaporação do cloro.

Em processo onde for necessária a descarga na forma de gás, esta deverá ser feita através de um vaporizador de cloro. Verificada a inexistência de vazamentos, a válvula angular deve ser aberta, lenta e totalmente. Se a válvula de bloqueio de excesso de fluxo operar, interrompendo a vazão, é necessário fechar, completamente, a válvula angular para que a esfera volte a posição normal e abra a válvula de bloqueio de excesso de vazão.

Para fazer a esfera descer, pode-se bater, levemente, na tampa de cobertura da boca de visita. Jamais golpear a válvula angular. A válvula angular nunca deve ser usada para controle de vazão, permanecendo completamente aberta para permitir

que a válvula de bloqueio de excesso de vazão opere em caso de falha na tubulação de descarga. Se a vazão de descarga precisar ser controlada, este controle será feito no sistema de descarga, após a válvula angular. O cloro líquido pode ser descarregado pela sua própria pressão de vapor e, se necessário, pode-se usar ar seco ou nitrogênio seco para manter a contrapressão, enquanto o tanque for descarregado. Em nenhuma hipótese pode-se aplicar calor no tanque. A pressão de descarga não deve ser superior a 9 Kg/cm<sup>2</sup>.

Os vagões e caminhões somente podem ser descarregados em instalações devidamente aprovadas por órgãos governamentais competentes, especialmente projetadas e construídas com programa de manutenção preventiva.

As operações de descargas devem ser executadas somente por pessoas devidamente instruídas para o manuseio do cloro. Em local visível devem aparecer placas de advertência, de dimensões de 30 x 45 cm, com os dizeres: “PARE, VAGÃO-TANQUE CONECTADO PARA DESCARGA” ou “PARE, HOMENS TRABALHANDO”.

Todos os caminhões e vagões-tanque a serem descarregados, após posicionados, devem ter os freios aplicados e as rodas travadas.

No ponto de descarga deve ser injetada uma plataforma adequada para acesso, conexão e operação das válvulas. Quando esta for feita à noite, a área tem de estar convenientemente iluminada e uma luz de alerta colocada junto à placa de advertência.

Antes de se iniciar a conexão é necessário verificar se os dados do tanque conferem com a documentação de despacho ou nota fiscal para certificar-se de que o carregamento está correto.

No caso de vagões ferroviários o ramal deve ser um fim de linha fechado, exclusivo para descarga de cloro. Os trilhos devem ser nivelados e o vagão protegido por um desvio com chave de travamento. Essa chave de travamento deve estar distante pelo menos 15 metros do vagão posicionado para descarga.

### **2.12.1 Conexões e Desconexões**

A descarga deve ser feita por meio de um tubo flexível metálico, adequado para cloro. A conexão rígida é desaconselhada por esta sujeita a movimentação do tanque entre cheio e vazio.

A indicação de que o tanque está vazio se dá por uma brusca queda de pressão. A válvula angular deve ser fechada e os tubos metálicos de descarga mantidos conectados até que estejam vazios, antes de fechar qualquer outra válvula do sistema de descarga e proceder sua desconexão.

Após a desconexão dos tubos metálicos de descarga, o “plug” da válvula angular deve ser recolocado, imediatamente, para evitar a umidade do ar e prevenir a corrosão da parte rosqueada da válvula. Os terminais dos tubos metálicos de descargas também devem ser fechados, para que sejam protegidos da umidade do ar. A tampa do capacete de proteção das válvulas deve ser fechada e apertada.

### **2.12.2 Tubulações flexíveis**

As tubulações flexíveis podem ser de aço carbono (mais aconselhável) ou de cobre. O diâmetro externo não pode ser superior a 25 mm para o cobre e 50 mm para o aço carbono, salvo para os diâmetros pequenos.

A forma do tubo flexível deve ser tal que a tensão do metal resulte no mínimo da flexibilidade das molas mais as diferenças de níveis ou de posições. O tubo deve ser

sem solda, de preferência de uma peça só. Se for soldado, é necessário um alívio de pressão e as soldas radiografadas a 100%.

A espessura mínima do tubo deve ser de 3,91 mm, para DN  $\frac{3}{4}$ " (schedule 80) e 4,5 mm para DN 1 e seu controle realizado periodicamente. Para a utilização com cloro frio, o aço do tubo e dos flanges deverão apresentar as qualidades de resiliência de -34°C e o cobre é proibido.

### **2.12.3 Flanges, juntas e parafusos**

Para os flanges, o material deverá estar em conformidade com as especificações ASTM-A-350 Gr LF-1 Teste de Resiliência, de acordo com a ASTM-A-370.

Para os flanges de face lingueta e ranhura grande ou pequena o material da junta deve ter um anel de chumbo com 2 - 4% de antimônio ou anel de PTFE (teflon) maciço. Nas juntas de face com ressalto o material deve ser de amianto de qualidade compacta e já testado em cloro. Em nenhum caso as juntas podem ser reaproveitadas.

Os parafusos têm que atender as especificações ASTM-A-320 grade L-7 para estojos, ASTM-A-194 grade 4 para as porcas e ASTM-A-370 para os testes de resiliência.

### **2.12.4 Tubos, Curvas e Tês**

Os materiais dos tubos têm que atender a ASTM-A-333 grade 1. Os tubos de aço, os flanges e acessórios são calculados a uma pressão mínima de serviço de 40bar. Os tubos devem ser estirados de preferência em costuras e se forem soldados

devem ser submetidos a um alívio de tensão. O aço do tubo e flanges devem apresentar as qualidades de resiliência a  $-34^{\circ}\text{C}$ .

As curvas, tês e reduções devem ser forjadas à quente sem redução de espessura. Os raios de curvaturas serão maiores que 1,5 o diâmetro (D) e as soldas radiografadas a 100%.

A velocidade do cloro líquido dentro dos tubos, deve ser limitada a 2 m/s e os terminais para conexão nas válvulas angulares limpos e com as roscas perfeitas.

Nenhuma redução ou conexão intermediária deve ser utilizada, pois pode causar diminuições de fluxo tornando a válvula de bloqueio de excesso de vazão inoperante. Para evitar tensões excessivas nas válvulas angulares, as chaves usadas para conexão devem ser de, no máximo, 45,72 cm (18 polegadas) de comprimento.

Completadas as conexões, deve-se abrir, cuidadosamente, a válvula de cloro para que estas sejam testadas quanto a vazamentos.

#### **2.12.5 Retorno**

Antes de liberar um tanque é conveniente certificar-se de que este esteja completamente vazio e com pressão máxima de  $2,0 \text{ Kg/cm}^2$ . Se houver qualquer anormalidade que não permita a descarga total do tanque o produtor deve ser notificado.

#### **2.12.6 Limpeza e secagem**

Antes da colocação em serviço, o tanque (e demais equipamentos) deverá ser cuidadosamente desengordurado, limpo e seco. A secagem deverá ser realizada até a obtenção de um ponto de orvalho igual ou inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$  sobre o gás de secagem na saída do aparelho. Para a lubrificação dos equipamentos internos ou que possam ter contato com o cloro deverá ser utilizada uma graxa compatível com o mesmo (por exemplo, graxa clorofluorada).

### **2.12.7 Controle de estanqueidade**

Antes da colocação em operação, todas as válvulas e acessórios deverão ser testadas de maneira a garantir perfeita estanqueidade.

Os métodos de testes são:

- testes dos halogêneos a 2bar de pressão de ar em atmosfera calma e não ventilada;
- teste com mistura cloro/gás seco a 2bar e juntas controladas com amoníaco;e
- pressão de ar acima da pressão máxima de serviço e localização dos vazamentos com água misturada com produto espumante.

### **2.12.8 Inspeções**

Antes do primeiro transporte é necessário realizar uma inspeção sobre os seguintes pontos:

- Aptidão do veículo ao transporte em geral;
- Estado de válvulas e juntas (estanqueidade);

- Estado dos acessórios; e
- Presença das instruções de segurança e salvamento.

## 2.13 EMERGÊNCIAS

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), quando houver qualquer indicação da presença de cloro na atmosfera devem ser tomadas medidas imediatas para eliminar o problema na origem. Um vazamento de cloro jamais tenderá a diminuir e sempre se agravará se não for contido imediatamente.

Para caso de perigo proveniente de cloro líquido ou gasoso é válido, quando não houver aparelho para proteção respiratória à disposição, procurar um caminho de fuga sempre em direção perpendicular ao vento, abandonando o local o mais rápido possível. Não se deve respirar profundamente. Uma fuga descontrolada somente aumentará o risco.

Qualquer vazamento ou escape de cloro deverá ser comunicado imediatamente a pessoa responsável. Após a evacuação e interdição da área de perigo, o pessoal autorizado – treinado e devidamente protegido com máscara e roupa protetora – deverá investigar o ocorrido.

As ações deverão ser realizadas mediante plano de controle de emergência previamente estudado. Sempre que possível, dever-se-á evitar que qualquer pessoa tente reparar um vazamento de cloro sozinho. Todas as demais pessoas deverão ser mantidas afastadas da área até que o vazamento seja contido. Se este for extensivo, todas as pessoas que estiverem na direção das emanações precisam ser alertadas para abandonar a área.

Na existência de instalação de alarme deverá ser dado o alarme de cloro. Eventualmente, poderá ser necessária a prevenção da vizinhança e afastá-la. Para tanto, poderá ser necessária a participação das autoridades locais e órgãos auxiliares como o Corpo de Bombeiros, Polícia e Defesa Civil.

Como regra geral, vale-se informar para todas as pessoas que se mantenham de costas para o vento e em nível superior ao vazamento. Pelo fato de 2,5 vezes mais pesado do que o ar, o cloro, geralmente, fica junto ao solo. Isto poderá não ocorrer em locais fechados ou na presença de correntes de ar.

Se uma emergência envolvendo vazamento de cloro não ser possível ser controlada prontamente pelo pessoal local, dever-se-á solicitar auxílio do fornecedor de cloro mais próximo. As fábricas de cloro operam em regime de trabalho contínuo e poderão oferecer auxílio com pessoal especializado a qualquer momento.

As fichas de emergência, que acompanham cada carregamento de cloro deverão conter os telefones disponíveis para a obtenção de auxílio em caso de necessidade. Estes números deverão ser verificados, periodicamente, a fim de certificar-se de que estejam atualizados. Ao solicitar auxílio por telefone, informar:

- nome do fornecedor;
- nome da empresa, endereço, número de telefone e o nome da(s) pessoa(s) que possa(m) ser contatada(s) para informações adicionais;
- rota indicada para o local da emergência;
- tipo e tamanho dos recipientes (cilindros ou tanques) envolvidos, se caminhão ou vagão-tanque, número da placa ou frota;
- local, natureza e extensão da emergência; e
- medidas corretivas adotadas.

### **2.13.1 Incêndios**

Em caso de incêndio os cilindros de cloro deverão ser removidos imediatamente da área do fogo. Vagões-tanque deverão ser desengatados e manobrados para fora da área de perigo. Caminhões-tanque, se não estiverem com tração própria deverão ser rebocados para fora da área.

No caso de instalações fixas contendo cloro (tanques de armazenagem, tubulações) o fogo necessitará ser primeiramente apagado. No caso de evasão de cloro, a entrada de mais cloro para o local de emissão deverá ser interrompida o mais rápido possível. Por exemplo, atrás do fechamento das válvulas.

Se não houver vazamento de cloro, dever-se-á aplicar água sobre os tanques ou cilindros que não for possível removê-los a fim de mantê-los resfriados.

Todas as pessoas não autorizadas deverão ser mantidas afastadas da área do acidente.

### **2.13.2 Vazamentos**

Para localizar um vazamento, utilizará estopa ou algodão impregnado de amônia concentrada, preso na ponta de uma vara. A aproximação dos vapores de amônia ao local de vazamento formará névoa branca que permitirá a rápida localização do ponto de escape. Deverá ser evitado o contato da amônia com o latão.

Nunca deverá ser aplicada água no vazamento de cloro. O cloro é levemente solúvel em água e a mistura de água e cloro tem rápida ação corrosiva agravando o vazamento.

Para o controle do vazamento deverá ser observado:

- Vazamentos em tubulações e equipamentos: Fechar o suprimento de cloro, despressurizar e efetuar o reparo necessário. Se houver necessidade de solda, purgar antes com ar seco (nitrogênio ou gás carbônico também poderá ser usado).
- Vazamento em válvulas: Se ocorrerem pela haste da válvula poderão ser corrigidos, simplesmente, com reaperto da gaxeta. Se o vazamento persistir, deverá ser fechada a válvula de saída do cilindro. Quando ocorrer vazamento através da válvula (assento e haste irregular) será necessário colocar o “plug” de proteção.
- Vazamento em trânsito: É recomendável não parar o veículo, continuando em movimento até encontrar lugar despovoado (longe de casas, pessoas e demais veículos) onde os gases poderão ser dispersos com menor risco. Em caso de acidente com caminhão ou vagão-tanque a área atingida deverá ser evacuada e interditada até que sejam estabelecidas condições seguras no local.
- Vazamentos em cilindros: As seguintes ações deverão ser seguidas para o controle e contenção:
  - ✓ se um cilindro estiver vazando cloro líquido, vire-o se possível, para que escape gás em lugar de líquido. A quantidade de cloro na forma de gás é 15 vezes menor que a quantidade de cloro obtida, se o vazamento for no estado líquido, através da mesma abertura;
  - ✓ se viável, reduzir a pressão do cilindro por remoção do cloro na forma de gás (não líquido) para o processo ou sistema de despejo;
  - ✓ aplicar o kit de emergência;
  - ✓ nunca submergir na água um cilindro com vazamento de cloro. O vazamento se agravará e o cilindro poderá flutuar quando estiver semi vazio, causando grande turbulência de cloro na superfície.

- ✓ solicitar auxílio de emergência.

### **2.13.3 Retorno de cilindros/tanques avariados**

É considerada irregular a remessa de cilindros, caminhões ou vagões-tanque com vazamento ou que tenham sido expostos ao fogo (cheios ou parcialmente vazios). Entretanto, há casos específicos em que se faz necessário despachar cilindros ou tanques avariados, nos quais tenha sido aplicado o kit de emergência. Nestes casos, deverão ser realizados contatos preliminares entre recebedor, fornecedor e transportador para que o transporte possa ser realizado provido de todos os requisitos de segurança.

### **2.13.4 Preparativos para manuseios de cloro em regime de emergência**

O cloro pode, geralmente, ser descarregado no processo através do equipamento para cloração. Se for possível reduzir a pressão no cilindro ou tanque, com o propósito de diminuição do vazamento, o gás pode ser removido. O líquido somente poderá ser removido se for possível ser absorvido no processo.

Se não houver possibilidade de realizar descargas de cloro no processo, em condições de emergências, deverá ser considerada a instalação de um sistema de absorção alcalina, especialmente projetado para descarga de cloro em emergências. Na instalação de tal sistema, deverá ser previsto um tanque de armazenamento para a solução alcalina. A descarga de gás e a absorção de cloro em soluções alcalinas aquosas não deverá ser realizada de forma rápida (devido ao aquecimento) e sob agitação. As soluções alcalinas poderão ser preparadas, conforme demonstrado no Quadro 3. As quantidades indicadas são equivalentes químicos necessários, recomendando-se um excesso para tornar a absorção mais eficiente.

<b>Absorção de cloro – Soluções Alcalinas</b>				
<b>Capacidade da Embalagem (Kg)</b>	<b>Soda 100 %</b>	<b>Cáustica Água (l)</b>	<b>Cal (Kg)</b>	<b>Hidratado Água (l)</b>
45,4	56,75	181,84	56,75	568,25
68,1	85,35	272,76	85,36	854,65
908,00	1.135,00	3.636,80	1.135,00	11.365,00

Fonte: Manual de Cloro da ABICLOR (1989)

A solução de cal hidratado deverá ser agitada, contínua e vigorosamente, enquanto o cloro estiver para ser absorvido.

### **2.13.5 Kit de emergência**

Este equipamento foi projetado para conter vazamentos que ocorrem mais frequentemente com os cilindros ou tanques (rodoviários e ferroviários). Opera basicamente, cobrindo as válvulas com vazamentos ou no caso dos cilindros que apresentarem vazamentos no corpo. É recomendável que todos os usuários de cloro tenham nos seus procedimentos de emergência a utilização correta do kit.

Todo kit contém instruções detalhadas para a aplicação de cada um dos seus dispositivos. São incluídas todas as ferramentas necessárias e excluídas as máscaras de gás e demais equipamentos individuais de proteção. O “kit” de Emergência é classificado em três tipos:

- “A” – para cilindros pequenos;
- “B” – para cilindros grandes;
- “C” – para vagões-tanques e caminhões-tanques.

### 2.13.6 Acidentes

Todas as ações deverão ser orientadas para se evitar acidentes. É indispensável a preparação de um Manual de Segurança contendo, em linguagem simples e clara:

- Informações sobre cloro líquido, gasoso e suas propriedades perigosas;
- Descrição de equipamentos de processo da unidade, especialmente do ponto de vista de segurança;
- Detalhe das medidas de prevenção de acidentes;
- Descrição e localização dos equipamentos de segurança, incluindo a instrução de uso e sua operação;
- Detalhe do equipamento de proteção pessoal e instrução de uso, cuidado e limpeza;
- Sequência de ação para procedimentos em caso de acidentes;
- Nomes de supervisores a contatar e seus telefones;
- Criação de “slogans” preventivos, tais como: NÃO CHEIRAR / FIQUE SEMPRE DE COSTAS PARA O EVENTO;
- Relação dos pontos de parada obrigatória ao longo dos percursos;
- Relação das autoridades a quem se dirigir ao longo dos percursos; e
- Relação dos trechos da estrada que requeiram especial atenção do motorista.

Além do mais, cada veículo deverá levar, em lugar visível da cabine, uma ficha contendo informações suficientes para, em caso de acidente, o motorista saber o que fazer, além das instruções para as autoridades atuarem corretamente (Ficha de Emergência).

Em caso de acidente, deverá designar uma Comissão Técnica para investigar as causas e propor medidas preventivas, estudando a possibilidade de falha no equipamento e/ou humana, analisando que tipos de erros ocorreram e quais as providências a serem tomadas futuramente. A discussão com o operador é uma maneira excelente de treinamento em segurança. Um relatório sucinto deverá ser imediatamente preparado e distribuído a todos os produtores, consumidores e transportadores de cloro.

O Quadro 4 demonstra as recomendações para abandonar o local de acordo com a área afetada pelo derrame de cloro.

Quadro 4 – Recomendações em caso de derrames de cloro por área.

Derrame (m <sup>2</sup> )	DISTÂNCIA Área de risco imediatamente (m)	EVACUAR NA DIREÇÃO DO VENTO	
		Comprimento (km)	Largura (km)
18,6	146	1,6	0,8
37,2	205	2,4	1,6
55,7	255	2,4	1,6
74,3	296	3,2	1,6

*Recomenda-se arredondar os valores. Assim, para derrames de 74,3 m<sup>2</sup>, leia-se 75 m<sup>2</sup>, 300m, 3,5 km e 1,5 km*

Fonte: Manual de Cloro da ABICLOR (1989)

### 2.13.7 Primeiros Socorros

Deverão ser seguidos os seguintes procedimentos:

- Fazer compressão do coração no externo. A vítima deverá estar em uma superfície dura e de braços estendidos para realizar essa manobra;

- Colocar a vítima deitada de costas e, com as duas mãos no terço médio inferior, realizar compressões no mesmo. Após cada compressão, o socorrista deverá retirar toda a pressão sobre o esterno. A pressão deverá baixar o esterno de 3 a 4 cm. Deverá ser repetido o ciclo 60 vezes por minuto (em crianças 80 a 100 vezes por minuto);
- A respiração cárdio-pulmonar deverá, sempre que possível, ser aplicada por dois socorristas. Após 4 a 5 compressões do tórax, fazer uma insuflação. Se for executada por um socorrista, este deverá realizar insuflações após 12 a 15 massagens cardíacas externas. Havendo líquido nos pulmões ou estômago se o acidentado for adulto, virá-lo de lado, comprimindo o estômago e se for criança, colocando-a de cabeça para baixo.

## 2.14 ENGENHARIA / INSTALAÇÕES

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), atenção especial deverá ser dada aos edifícios e instalações para armazenagem e manuseio de cloro. A qualidade dos materiais e do layout é fator importante para se trabalhar de uma forma segura com o cloro. Apresentam-se sugestões no intuito de se permitir, ao consumidor de cloro, especificar, claramente, suas exigências.

### 2.14.1 Definição do local de armazenamento

A implantação de qualquer unidade de armazenagem e manuseio de cloro resulta em diversas exigências como a proteção contra o fogo, choque, vazamento, meio ambiente, dados do processo e qualificação de mão de obra:

- Proteção contra-fogo: A instalação deverá estar afastada de locais onde possam ocorrer incêndios ou explosões, numa distância mínima de 20 metros.

Geralmente embalagens não resistem a temperaturas superiores a 70°C quando a pressão interna se aproxima da pressão de prova (22 bar);

- Proteção contra choques: Durante as manobras de carga e descarga as embalagens deverão ser protegidas contra choques;
- Implicações de um vazamento quanto ao meio ambiente: O projeto deverá estudar, cuidadosamente, as consequências possíveis de um vazamento sobre a segurança pessoal, as instalações e as populações vizinhas. A direção do vento no local deverá ser verificada antes de iniciado o projeto. É preciso também avaliar as relações com as autoridades locais, para prevenir as ações de emergências que compreenderão o abatimento, a cortina de água e o sistema de espuma;
- Dados do processo: Deverão estar cuidadosamente estudadas para otimizar o uso das embalagens, considerando o consumo de cloro, escolhendo-se o tipo de embalagem, o modo de estocagem adequado e as possibilidades de abastecimento e consumo. Também é preciso considerar a estabilidade do fornecimento de energia elétrica e do volume de cloro estocado, decidindo a necessidade da instalação de alimentação de emergência e da força motriz.

### **2.14.2 Edifícios**

Para os casos em que as instalações de cloro e estocagem de cilindros serem feitos em edifícios, estes deverão ser construídos e equipados de elementos com proteção contra o fogo. Se houver necessidade de manusear materiais inflamáveis na mesma área, é preciso construir uma parede corta fogo para separação dos sistemas de cloro. Deverão ser previstas duas saídas de cada área onde o cloro será processado ou armazenado. Todas as portas de saída deverão ser abertas para fora.

### **2.14.3 Ventilação**

A ventilação do edifício deverá prever, além de perfeita renovação do ar, em condições normais de operação, a possibilidade de eventuais vazamentos. Em alguns casos, a ventilação natural poderá ser adequada, em outros deverá ser previsto um sistema de ventilação por exaustor. A troca de ar de 1 a 4 minutos será o desejável. Deverão ser tomadas precauções para evitar que a descarga dos gases de cloro seja feita onde possa causar danos a pessoas ou equipamentos.

#### 2.14.3.1 Entrada de ar

O gás cloro é mais pesado do que o ar e tem a tendência de se depositar ao nível do solo. A sucção dos exaustores deverá ser localizada junta ou próxima ao solo. Deverão ser consideradas diversas entradas de ar fresco e vários exaustores para remoção do ar em certas áreas.

#### 2.14.3.2 Exaustores

Algumas vezes serão necessários o uso de dutos para o transporte dos gases de cloro da área operacional. Tais dutos deverão ser acoplados diretamente ao exaustor. Os gases deverão ser conduzidos e descarregados em áreas seguras. As chaves de acionamento dos exaustores deverão ser locadas na parte exterior, mesmo quando for instalada também uma chave interna.

### **2.14.4 Tubulações**

As tubulações referem-se, somente, àquelas permanentes do sistema de cloro seco.

#### 2.14.4.1 Materiais de construção

As recomendações para tubulações, conexões e equipamentos diversos, adequados para o cloro, serão encontradas nas publicações do Chlorine Institute e BITC.

#### 2.14.4.2 Geral

O arranjo de tubulações deverá ser tão simples quanto possível e o número de conexões rosqueadas e mesmo flangeadas deverão ser o menor possível para evitar prováveis vazamentos. As tubulações deverão estar firmemente suportadas e projetadas com caimento que permita a drenagem de todo o sistema. Deverão ser evitados pontos mortos, onde o líquido possa ficar retido e prevista a flexibilidade da tubulação para sua expansão pela variação de temperatura.

#### 2.14.4.3 Expansão do líquido

O cloro líquido tem um alto coeficiente de expansão térmica e se bloqueado por suas válvulas, num trecho da tubulação, poderá criar uma pressão hidrostática altíssima, com o conseqüente aumento de temperatura, podendo provocar a ruptura da tubulação. Estes efeitos deverão ser levados em consideração para qualquer projeto de tubulações para cloro. Se a mesma acarretar riscos de perigo a pessoas ou equipamentos, pela liberação de grandes quantidades de cloro, deverá ser previsto um dispositivo de proteção contra as pressões excessivas. Este equipamento de proteção poderá consistir numa câmara de extensão, uma válvula de alívio de pressão ou ainda um disco de ruptura, cuja descarga deverá ser conduzida para um reservatório ou área segura.

#### 2.14.4.4 Condensação

Pode ocorrer em tubulações de cloro gasoso, que passam por áreas onde a temperatura esteja abaixo do ponto de equilíbrio “pressão/temperatura” indicado na

curva de pressão de vapor. Se o aquecimento não for suprimido de forma adequada por um vaporizador de cloro, a condensação poderá ser evitada operando-se em pressões mais baixas com o emprego de uma válvula redutora de pressão.

#### 2.14.4.5 Instalações

As junções em tubulações para cloro deverão ser soldadas ou flangeadas. Se não for possível evitar o uso de conexões rosqueadas, estas deverão ser perfeitas para não conduzir a possibilidade de vazamento. Na montagem, as partes rosqueadas deverão estar limpas e usadas fitas teflon como material de vedação.

#### 2.14.4.6 Limpeza

Todo sistema de cloro deverá ser perfeitamente limpo e seco antes de utilizado pela primeira vez. Óleo de corte ou resíduos de graxa podem reagir violentamente com o cloro. A tubulação deverá ser lavada com um solvente clorado, como o tricloroetileno. Nunca usar hidrocarbonetos ou álcoois, para evitar reações com o cloro. Peças novas que, normalmente, são recebidas com uma camada protetora de graxa, deverão ser desmontadas, lavadas e testadas com 13 Kg/cm<sup>2</sup> com ar seco e limpo, antes de serem instaladas.

#### 2.14.4.7 Teste hidrostático

Todas as tubulações deverão ser submetidas ao teste hidrostático com 22bar de pressão, antes de proceder a sua secagem.

#### 2.14.4.8 Secagem

Todo o sistema deverá ser perfeitamente seco antes de utilizado com cloro. A secagem das tubulações e válvulas poderão ser feitas com vapor, tendo-se o cuidado de manter a drenagem do condensador nos pontos baixos. Quando o sistema estiver completamente aquecido, parar o vapor e soprar todo o sistema com ar seco (ponto de orvalho  $-40^{\circ}\text{C}$ ) até que esteja completamente seco. Esta operação irá requerer algumas horas e se for mais conveniente poderá usar nitrogênio seco ao invés de ar.

#### 2.14.4.9 Teste com gás

Depois de seco, todo o sistema deverá ser testado com pressão de ar seco (ou nitrogênio) a  $13 \text{ Kg/cm}^2$ , verificando-se todas as conexões com espuma de sabão. Se tudo estiver em ordem, o cloro poderá ser introduzido no sistema, lenta e cautelosamente, a fim de verificar possíveis vazamentos. Jamais deverá utilizar solda para reparar os vazamentos antes que o sistema esteja completamente purgado e livre de cloro. Sempre que se fizer reparos no sistema, deverá testá-lo antes de receber cloro novamente.

#### 2.14.5 Cloro úmido

O cloro úmido é extremamente corrosivo em todos os metais normalmente utilizados em sistemas de armazenagem, transporte e manuseio de líquido. As baixas pressões poderão ser manuseadas em equipamento de louça, porcelana, vidro e algumas ligas metálicas. Também tem sido utilizada borracha dura, cloreto de polivinila não plastificado, poliéster reforçado com fibra de vidro e teflon.

Todos esses materiais precisarão ser selecionados com cuidado. O titânio somente poderá ser utilizado com cloro úmido, pois com cloro seco reage com violência. A utilização de equipamentos de aço, pelas altas pressões, exigirá revestimento adequado, como vidro ou ligas especiais.

### **2.14.6 Vaporizadores**

Em alguns casos, os sistemas que utilizam o cloro em forma de gás necessitam de vaporizadores, equipados com camisa de água ou vapor. A construção de um vaporizador deverá ser feita por empresa especializada, pelos riscos que envolve a operação. Para evitar um aumento de pressão acima das condições de segurança os vaporizadores deverão estar equipados com dupla válvula de segurança, com válvula de três vias, para permitir uma manutenção periódica. A temperatura máxima recomendada para equipamento de aço em contato com cloro é de 140°C. Como temperaturas baixas aumentam a vida dos equipamentos deverá se trabalhar com uma média de 120°C para se evitar problemas de corrosão nas paredes internas em contato com o cloro.

É recomendável instalar alarme para alta temperatura na camisa do vaporizador e outro, para alta pressão, no lado do cloro com “set” intermediário entre a pressão normal de trabalho e a de abertura da válvula de segurança.

A cada dois anos de operação serão necessários fazer inspeção interna no equipamento para determinar o estado das paredes de aço em contato com o cloro, medindo a espessura das paredes com ultrassom e teste hidrostático com pressão de uma vez e meia a de projeto. Para tanto, o vaporizador deverá ser purgado com ar seco até um ponto de orvalho de -40°C e feito um teste pneumático com ar seco e nitrogênio de 150 PSI para detectar vazamentos nas conexões. Ao entrar novamente em operação deverá ser feito um teste com amônia.

### **2.14.7 Tanques estacionários**

Para receber cloro a granel de caminhões ou vagões-tanques os usuários deverão prever a instalação de tanques de armazenagem localizados longe de instalações perigosas e de depósitos de produtos inflamáveis. É recomendável a instalação de

diques de contenção e de um sistema de inundação por espuma média e/ou de cortina d'água de baixo para cima. Quando os tanques estiverem isolados, deverão ser abertas as janelas no isolante para respiração.

#### **2.14.8 Despejos de resíduos**

Quando o despejo manipulado num processo contiver quantidade apreciável de cloro serão necessários equipamentos especiais para atender as normas e exigências federais, estaduais e locais.

### **2.15 LIMPEZA E REPARO**

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), a limpeza e reparo dos equipamentos deverão ser efetuados por pessoas familiarizadas com todos os riscos da operação, para que a tarefa seja realizada com o máximo de segurança, abrangendo educação do pessoal, equipamentos de proteção, riscos pessoais e perigos do fogo. Todo o pessoal deverá ser treinado com frequência.

#### **2.15.1 Reparo de equipamentos**

Os equipamentos e tubulações de cloro nunca deverão ser limpos quando em operação. O sistema deverá ser purgado com ar seco e nitrogênio. Antes de um equipamento ou tubulação ser aberto será necessário verificar se não existe cloro em seu interior. A primeira exigência no reparo de qualquer equipamento é a permissão por escrito que contenha os cuidados necessários, assinada pelos responsáveis envolvidos na operação.

#### **2.15.2 Entradas de tanques**

Quando um tanque estiver limpo, as tubulações deverão ser desconectadas e fechadas com flanges para que o mesmo fique totalmente isolado do sistema. A o entrar num tanque a pessoa deverá estar munida de equipamento de respiração individual, cinto de segurança e corda de resgate. Outra pessoa deverá permanecer do lado de fora do tanque em comunicação permanente com a que está em seu interior para a proteção de eventual acidente. Mesmo que o tanque não tenha cloro, deverão ser evitadas exposições prolongadas em seu interior sem equipamento de respiração, pois o ar, por ser muito seco, poderá provocar lesões nas vias respiratórias. Jamais alguém deverá entrar no tanque para resgatar vítimas de exposição nociva sem estar munido de equipamento respiratório e cinto de segurança atado à corda de resgate. É importante testar os equipamentos de respiração antes de entrar no tanque e analisar, cuidadosamente, o tipo de reparo a ser efetuado.

### **2.15.3 Limpeza de linhas de equipamentos**

Especial atenção deverá ser dada aos equipamentos que irão operar com cloro gás, cloro líquido ou para serviços de cloro, desde a fase de recebimento até a partida, evitando-se a presença de água, graxa, óleos e outros compostos orgânicos.

A presença de umidade no cloro provoca a formação de ácido clorídrico e ácido hipocloroso que são altamente corrosivos para os materiais comumente aplicados na fabricação de vasos e tubulações.

A presença de graxas, óleos, álcool e hidratantes trazem o perigo de violenta reação do cloro, causando explosões com grandes prejuízos materiais e pessoais. Somente graxas e óleos indicados para uso em cloro podem ser empregados. Os solventes indicados para limpeza são o tricloro-etileno e o percloro-etileno.

Os solventes clorados utilizados na limpeza dos equipamentos produzem graves efeitos fisiológicos, devendo ser manuseados dentro dos limites de segurança. No caso da utilização de vapor, deverá ser verificado se o sistema permite elevação de temperatura.

Após a limpeza com fluido, a secagem deverá ser feita desconectando seções de tubulações, com o máximo de 12 metros de comprimento cada. Nessas seções deverá ser aplicado vapor até o aquecimento da linha e purgada com ar seco comprimido quente (120°C) com ponto de orvalho de -40°C. Para ter certeza de que as linhas estarão secas, o ar de saída das tubulações e equipamentos deverão apresentar o mesmo ponto de orvalho da entrada. Após a limpeza, o equipamento deverá ser fechado e pressurizado com ar seco para ser evitada a entrada de umidade.

#### **2.15.4 Reparos externos**

Soldas externas ou aquecimento de tanque de cloro somente podem ser executados depois que o mesmo tenha sido completamente esvaziado e purgado com ar seco. Para entrar novamente em operação, deverá se fazer alívio de tensão na parte reparada.

## **2.16 SEGURANÇA E HIGIENE**

### **2.16.1 Medidas Preventivas**

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), valem para o cloro as normas gerais vigentes, para evitar acidentes no trabalho com produtos químicos perigosos. É da competência e obrigação do responsável pelas seções nas quais o cloro é produzido, proporcionar um funcionamento sem perigo, dar instruções ao pessoal e

operar e fiscalizar a observância das normas de prevenção contra acidentes. Compete ainda à empresa transportadora, a obrigação de assegurar um transporte de cloro fora de perigo.

Todas as pessoas que, de forma permanente ou temporária manuseiam o cloro, deverão ter conhecimento a respeito dos riscos e medidas preventivas correspondentes. Compete aos responsáveis diretos pelas operações dotar as pessoas envolvidas desses conhecimentos mínimos. Os principais meios utilizados para o alcance desses objetivos são:

- ficha de informação de segurança do produto (MSDS), que deverá estar disponível a todos os envolvidos nas operações;
- manual de operação, atualizado anualmente, contendo a descrição das operações normais e anormais (paradas, partidas, emergências, etc.);
- sinalização de risco através da simbologia do produto nos tanques, pintura das tubulações nas cores amarelo para cloro gás e alaranjado para cloro líquido e identificação padronizada e clara de equipamentos mais importantes.

### **2.16.2 Plano de Controle de Emergência (PCE)**

É fundamental a existência de um PCE, que avalie o perigo provocado por cloro evadido nas salas de células, nas instalações de condensação, liquefação, evaporação e armazenamento, nas instalações de absorção dos gases restantes e nos serviços de transporte e armazenamento dos cilindros, tanques e carros-tanque.

Dependendo das condições do vento e da dimensão da evasão de cloro, poderão ser postas em risco, em escala de proporção variada, grande parte das instalações. Recomenda-se por isso, colocar nos prédios sacos de vento, em lugares

apropriados, e dividir a área total de serviço em diferentes zonas de alarme. Conforme a intensidade da evasão de cloro e da direção do vento pode ser útil a instalação de uma sequência de alarmes graduados.

Esta sequência poderá ser feita nos sistemas da rede telefônica interna, nos alto-falantes, nos dispositivos de alarme de gases ou de incêndio do prédio. A informação deverá ser redatada, para que não ocorram mal-entendidos e possa haver ajuda eficaz de terceiros. Para que o plano de alarme possa ser bem executado deverá ser estabelecido um programa de treinamento com os empregados, corpo de bombeiros local e as unidades de segurança contra catástrofes (se houver). Este treinamento não deverá se limitar a verificação de regras e equipamentos de segurança existentes, mas também, simular uma evasão de cloro.

O trabalho em conjunto com as organizações de ajuda pública será necessário quando a empresa não dispõe de corpo de bombeiros próprio e/ou o combate contra grandes evasões de cloro depender da ajuda de terceiros. Pode tornar-se necessário prevenir a vizinhança e, eventualmente, retirá-la, o que também requer sentimento das organizações de segurança locais.

A amplitude da evasão de cloro, como acontecimento inesperado e o sobrecarregamento psíquico de tal situação deverá ser considerada na elaboração do PCE.

A segurança no manuseio de cloro dependerá, sobretudo, da eficiente orientação do pessoal, de instruções apropriadas de segurança no uso de equipamento adequado e de supervisão eficiente.

Serão de responsabilidade da supervisão a orientação e o treinamento do pessoal, no sentido de que todas as pessoas envolvidas com o manuseio de cloro detenham

consciência da necessidade do uso do equipamento de proteção individual e de demais dispositivos de segurança.

Deverá ser mantido programa de treinamento periódico, para novos e antigos empregados, para obter um alto nível de competência e eficiência nas operações com o cloro. Eles deverão ser treinados para prevenir vazamentos e também para saberem como proceder em qualquer ocorrência. Cada empregado deverá saber, perfeitamente, como agir em caso de emergência e estar familiarizado com os primeiros socorros.

A orientação e treinamento do pessoal deverão incluir instruções e verificações periódicas em forma de questionário para:

- lembrar a locação, propósito e uso do “kit” de emergência, equipamento de combate a incêndio e de parada de emergência;
- lembrar a localização e o uso de equipamento de proteção individual. Os operadores deverão ter em mente a necessidade da segurança de outras pessoas na área, antes de levar a cabo a operação que poderá exigir o uso de equipamento de proteção respiratória;
- lembrar a localização, propósito e utilização de lava-olhos e chuveiros de emergência, bem como as fontes de suprimento de água;
- lembrar as regras, localização, propósito e uso de equipamentos para primeiros socorros;
- evitar a inalação do gás cloro e o contato com o líquido; e
- relatar a autoridades competentes toda falha de equipamento.

### **2.16.3 Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC)**

As áreas de cloro deverão estar dotadas de chuveiros e lava-olhos de emergência. Para trabalhar em áreas onde houver possibilidade da ocorrência de concentrações acima do Limite de Tolerância, recomenda-se a utilização de exaustores conectados em sistema de abatimento de cloro.

Onde houver possibilidade de vazamento de cloro líquido é recomendável a exigência de sistema fixo ou portátil de espuma (média expansão) apropriada ao cloro, visando o retardamento da evaporação. Isto proporcionará maior tempo para o prosseguimento das ações de emergências.

Sistemas móveis de abatimento de cloro, para serem utilizados nos pontos de vazamentos, constituem outro recurso que, dependendo das condições, poderá dar resultado eficaz.

Os vazamentos dos tanques de armazenamento de cloro poderão ter suas consequências minimizadas se estes estiverem protegidos por galpões estanques conectados a sistemas de exaustão e abatimentos dos vapores.

As salas de controle deverão estar dotadas de sistema autônomo de ar respirável, pressurizadas em relação ao meio externo, de modo a garantir condições para controle ou parada das operações em situações de emergências.

#### **2.16.4 Equipamentos de Proteção Individual (EPI)**

Como regra geral as pessoas que se encontram em contato com o cloro deverão portar EPI – máscara panorâmica com filtro químico e máscara de fuga. A primeira é necessária nas emergências em aparelhos e tubulações com pequenos vazamentos e a segunda para emissões inesperadas. Estas máscaras deverão ser levadas pelos empregados de forma permanente, mas não podem atrapalhá-los. Para grandes

vazamentos é recomendável o uso de máscara autônoma ou de ar mandado com o traje respectivo.

Sempre que o cloro for usado ou manuseado, há risco de exposição e, portanto, podem ocorrer graves danos à saúde. Assim a pessoa que for efetuar uma conexão ou desconexão de linha de cloro deverá portar respirador para proteger-se de vazamentos. Em adição, deverá estar disponível, no lado externo, em área fechada e coberta, próximo à entrada e afastado da área sujeita à contaminação com cloro, equipamento adequado para uso em caso de emergência. Se o cloro for manuseado em áreas separadas, o equipamento deverá estar disponível em cada uma das áreas.

As máscaras deverão ser inspecionadas rotineiramente e mantidas em boas condições, sendo lavadas e higienizadas após cada uso ou intervalos regulares.

As máscaras contra gases podem ser de dois tipos:

#### 2.16.4.1 Aparelho Autônomo para respiração

Consiste em máscara facial e um cilindro de ar. Seu uso é adequado para altas concentrações de cloro, pois oferece proteção respiratória por um período de tempo proporcional à capacidade dos cilindros de ar.

#### 2.16.4.2 Máscara Individual tipo “Canister”

Adequada para áreas com concentrações moderadas de cloro e desde que haja quantidade suficiente de oxigênio na atmosfera contaminada. É usada para períodos de exposição relativamente curtos. O usuário da máscara deverá abandonar, imediatamente, a área contaminada, assim que perceber odor de cloro, mal-estar ou dificuldade de respirar, pois é indicativo de que a máscara não está operando

corretamente. A concentração de cloro está muito alta ou a de oxigênio está muito baixa. A menos que haja presença de outros gases, deverá ser usado o filtro específico para cloro. É perigoso o uso de filtro cujo prazo de validade, recomendado pelo fabricante, esteja expirado. Caso isto ocorra, os filtros deverão ser substituídos, mesmo sem uso.

Além dos usos das máscaras, qualquer pessoa que necessite entrar numa área confinada e contaminada, deverá usar um cinto de segurança tipo paraquedista com cordas de salvamento. Para operações de rotina não é necessário o uso de roupa protetora. Luvas de borracha ou plástico resistente deverão ser usadas nas operações de manutenção, quando houver possibilidade de contato com cloreto férrico.

Para a entrada em tanques deverão ser usadas luvas e botas de borracha. Embora não seja específico para a operação com cloro, é prática de segurança, a qualquer tempo, o uso do capacete, óculos e sapatos de segurança dentro das áreas operacionais.

Roupas protetoras são adotadas para intervenção em grandes vazamentos e servem, somente, para cloro gás, devendo ser usadas com máscaras autônomas.

A título de orientação se destacam os seguintes EPIs:

- Capacete: para proteção contra quedas de objetos, respingos químicos e choque elétrico na cabeça;
- Óculos de Segurança: para proteção dos olhos contra a projeção de corpos estranhos ou batidas contra objetos e instalações;

- Óculos de proteção contra gases: para proteção dos olhos contra gases de cloro. Deverão impedir a entrada de gás e permitir o uso simultâneo de máscaras;
- Óculos ampla visão: para proteção dos olhos contra respingos;
- Protetor auricular tipo concha ou plug: para proteção contra ruído excessivo;
- Capuz de proteção total: para proteção contra respingos de cloro líquido sobre a cabeça, face e pescoço. Quando necessário, deverá possibilitar o uso de proteção respiratória;
- Proteção respiratória: para atmosferas com deficiência de oxigênio deverá ser usada máscara autônoma ou de ar mandado. Para atmosfera contaminada com até 10 ppm de cloro poderá ser usado o respirador com filtro químico contra gases ácidos tipo “encaixe”. No caso de atmosferas contaminadas com até 25 ppm de cloro poderá ser usada máscara com filtro químico tipo “rosca” ou máscara facial acoplada a linha de ar mandado. Para atmosferas contaminadas com 25 ppm de cloro ou mais podem ser usados conjuntos autônomos com pressão positiva ou máscara acoplada a linha de ar mandado com pressão positiva. Todas as pessoas trabalhando em área de cloro, deverão portar máscara de fuga com filtro para proteção até 10.000 ppm (1% em volume) durante, no mínimo, cinco minutos;
- Vestimentas de proteção: para trabalhos em instalações com cloro líquido com potencial de vazamento, deverão usar vestimenta de proteção constituída por capuz total, jaquetas e calça ou macacão inteiriço, confeccionados com materiais resistentes a ácidos e baixas temperaturas. Numa situação de emergência, quando for necessário o trabalho em contato com o cloro, deverá ser usada roupa de proteção total que isole o usuário do meio ambiente e utilizada com o equipamento autônomo de proteção respiratória (embutido na própria roupa).

## 2.17 TOXICOLOGIA E PRIMEIROS SOCORROS

Segundo o Manual de Cloro da ABICLOR (1989), o cloro gasoso provoca graves irritações nas mucosas do nariz, boca, garganta e vias respiratórias, bem como nos olhos. Em concentrações mais fortes também são afetadas as vias respiratórias mais profundas com o aparecimento de forte mucosidade, com mistura de sangue e conseqüente falta de ar, podendo chegar à formação de um edema pulmonar. Inalação de concentrações acima de 50 ppm em volume, dependendo da dosagem, poderá levar à morte rapidamente.

O Instituto Nacional de Segurança da França e higienistas americanos (AHIA, Cincinnati, Ohio 1971) fixaram o limite máximo de cloro respirável no ar, como sem perigo, para um período de exposição de oito horas em 1 ppm. Na Rússia, este valor é de 0,3 ppm e na Alemanha é de 0,5 ppm, por exemplo.

A pele é menos sensível ao cloro gasoso enquanto o cloro líquido tem ação causticante sobre a mesma, provocando forte vermelhidão e até formação de bolhas. O efeito do cloro gasoso sobre as pessoas difere, de pessoa para pessoa, pela constituição física individual.

### **2.17.1 Inalação de cloro**

A inalação de cloro pode apresentar três formas: golpe de cloro, inalação em baixa e em alta concentração.

A intoxicação devido a “golpe de cloro” se caracteriza pela irritação das mucosas do nariz, garganta e olhos como tosse (às vezes dolorosas) e rouquidão. Como primeiros socorros deverá ser afastada a vítima o mais rapidamente da área contaminada, sentá-la numa sala calma, bem arejada, agasalhando-a com roupa quente ou cobertor, para que não se esfrie e solicitar atendimento médico, indicando o estado da vítima e o grau de exposição ao cloro.

Para evitar a tosse a vítima pode respirar em um lenço umedecido em álcool etílico a 94% e em seguida aplicar uma nuvem de solução de hipossulfito de sódio a 10% durante 20 minutos (de preferência com o auxílio de um aparelho aerossol carregado com 5 a 10ml de solução). Convém evitar qualquer esforço físico da vítima sem prévia autorização do médico.

A inalação em baixa concentração provoca um ataque mais intenso caracterizado por opressão torácica, sensação de grande cansaço, tosse dolorosa e um ritmo respiratório de no máximo 20 inspirações por minuto. A pele do rosto fica com cor azul roxeado. Como primeiros socorros a vítima deverá ser transportada para uma sala calma e bem arejada, evitando esforço de andar ou falar, deitando-a numa cama ou maca com o tronco bem erguido e mantido com travesseiros e desapertando toda a roupa (gravata, gola, cinto). A seguir deverá ser coberta com cobertor para evitar o risco de se resfriar.

Se o estado da vítima vier a se agravar, administrar oxigênio sobre baixa pressão, providenciando a vinda do médico com urgência, informando tratar-se de intoxicação por cloro e o estado do paciente. Para acalmar a tosse, além do lenço impregnado com álcool, pingar duas gotas de éter etílico a cada meia hora. O médico deverá decidir se a vítima poderá ser mandada para casa ou ficar em observação.

Finalmente, na inalação em alta concentração, o ataque severo se distinguirá por um ritmo respiratório atingindo 30 inspirações por minuto, um tom azul-roxeado ou cinzento na pele, uma tosse violenta (constante) com expectorações que podem ser rosadas (sangue) e um grande cansaço.

Como primeiros socorros a vítima deverá ser removida com urgência da atmosfera contaminada, transportá-la para uma sala calma e bem arejada. Administrando, o mais possível, oxigênio sob pressão (nunca carbogênio), com o auxílio de um aparelho do tipo "Pneophore". Se a vítima estiver consciente, poderá administrar

duas gotas de éter etílico a cada meia hora. Providenciar, com urgência, socorro médico, informando tratar-se de intoxicação com cloro.

O tratamento deverá ser feito pela inalação de uma nuvem de hipossulfito de sódio de 10% e a vítima deverá ficar sob observação durante vários dias.

A inalação em alta concentração poderá resultar no que se denomina de ataque grave, caracterizado por perda dos sentidos, parada eventual da respiração, pele roxeada, pulso rápido e edema pulmonar (respiração curta e barulhenta). Nestes casos a reanimação poderá ser iniciada por administração de oxigênio com auxílio de aparelhos do tipo “Pneophore”. Nunca praticar a respiração artificial, por método externo, o que poderá lesar gravemente o tecido pulmonar debilitado pelo cloro, ou utilizar métodos boca a boca ou boca-nariz, pelo perigo de intoxicação para o socorrista.

### **2.17.2 Derrame do cloro sobre o corpo**

Neste caso a vítima deverá ser afastada da área contaminada, removendo-se, imediatamente, toda a roupa umedecida para evitar os vapores que emanam da mesma. A seguir, deverá ser lavada a pele atingida, com água e sabão, durante pelo menos 15 minutos (inclusive a boca) e enxugar o corpo delicadamente com uma toalha limpa. Evitar que a vítima se esfrie.

As queimaduras deverão ser tratadas da mesma maneira que as queimaduras térmicas. No caso de rosto e olhos, o cloro líquido provoca uma forte irritação, com lacrimejo, rubor, queimadura das mucosas e possíveis lesões da córnea. O cloro gasoso provoca sintomas de irritação cuja gravidade depende da concentração.

Como primeiros socorros deverão ser lavados, rapidamente o rosto e os olhos em água corrente (usando-se o lava-olhos), pelo menos por 15 minutos. Na lavagem dos olhos, as pálpebras deverão ser mantidas abertas e a vítima realizar movimentos circulares com o globo ocular, para que todas as áreas atingidas possam ser irrigadas. Se após a lavagem, a dor intensa dos olhos persistir, o médico deverá usar uma ou duas gotas de colírio anestésico, até que o pH do olho (medido no papel indicador universal) volte ao normal. Deverá ser evitado, se possível, toda luz intensa durante e após a manobra.

Nunca instilar óleo ou usar pomadas, sem autorização do médico, enviando a vítima a um oftalmologista, que deverá ser informado sobre a natureza do acidente e as providências adotadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

Foram realizadas 04 (quatro) visitas à ETA RJCS, nos dias 14/01/2015, 28/01/2015, 26/02/2015 e 17/03/2015, para conhecer os processos envolvidos no tratamento de água, principalmente no que se refere à importância e riscos com a aplicação de cloro nesses processos. A Estação é composta por 25 trabalhadores diretamente na operação em 03 turnos diários de atuação por meio de escala de revezamento.

##### 3.1.1 Visitações

Para o desenvolvimento deste trabalho foi fundamental realizar visita à ETA Rodolfo José da Costa e Silva, pertencente à Sabesp, para conhecer seus processos de tratamento envolvendo a aplicação de cloro. Está localizada à Rua Graham Bell nº 647, no bairro Alto da Boa Vista, região estritamente residencial próxima a vias de grande circulação, como as avenidas Santo Amaro, Adolfo Pinheiro e Vereador José Diniz, zona sul da cidade de São Paulo. Também foi fundamental visitar a fábrica Unipar-Carbocloro na cidade de Cubatão/SP, fornecedora de cloro para a Sabesp e a outras empresas e clientes e conhecer seus processos de produção.



Figura 1 – Vista aérea da ETA Rodolfo José da Costa e Silva.

Fonte: Sabesp (2013)



Figura 2 – Reservatórios de Água Tratada dentro da ETA RJCS.

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

### **3.1.2 Dificuldades para o tratamento na ETA RJCS**

Os problemas de tratamento enfrentados pela Sabesp neste sistema produtor incluem episódios intermitentes, porém intensos, tais como:

- Florações de algas, causando desde a diminuição da produtividade da carreira de filtração até problemas de gosto e odor ocasionados, principalmente, pela presença de subprodutos metabólicos produzidos por algas e demais microrganismos no manancial do Guarapiranga;
- Aumento da concentração de ferro e manganês solúveis (relacionados com a estratificação térmica do reservatório Guarapiranga);
- Aumento da concentração de amônia, criando a necessidade de um pré-tratamento antes da adução da água bruta para a ETA;
- Eventual presença de cianotoxinas na água bruta em períodos de significativa floração de algas na represa.

### **3.1.3 Descrição do Sistema de dosagem de cloro na ETA RJCS**

A ETA Rodolfo José da Costa e Silva é uma estação de tratamento convencional. Projetada para operar com uma capacidade final de 15,0 m<sup>3</sup>/s em trabalho de regime contínuo.

O sistema de dosagem de cloro tem a finalidade de promover a oxidação de alguns compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água, propiciando melhor eficiência no tratamento quando a massa d'água chega na ETA.

O sistema de dosagem de cloro na EEAB (Estação Elevatória de Água Bruta), conta com três evaporadores, três cloradores de fabricação Alldos, com capacidade nominal total de dosagem em 30.000 libras/dia (13.620 kg/dia), e três ejetores. O cloro, armazenado no estado líquido, é fornecido em cilindros com capacidade de 900 kg e carretas de 18 a 21 toneladas, conforme demonstrado pela Figura 3.

O sistema está interligado, propiciando intercambiar de qualquer evaporador com qualquer clorador, e da mesma forma com os ejetores. Os ejetores são alimentados por uma linha derivada da adutora de saída da elevatória, onde estão instalados dois filtros de linha “tipo Y” para a retenção de sujeiras e preservação dos equipamentos de aplicações dos produtos químicos.



Figura 3 – Carretas de cloro trazidas por caminhões.

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

O sistema possui lavador e neutralizador de gás cloro, para a sala dos cloradores / evaporadores (no momento inoperante). Os evaporadores existentes são utilizados para converter o cloro líquido em gás superaquecido, conforme figuras 4 e 5.

As variáveis de controle destes equipamentos são: pressão do cloro gás, pressão na câmara de expansão e temperatura do óleo.



Figura 4 – Sala dos evaporadores na ETA RJCS (vista frontal dos painéis de controle de temperatura)

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).



Figura 5 – Sala dos evaporadores na ETA RJCS (detalhes das tubulações e aquecedores)

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

Os evaporadores estão instalados interligados com todos os cloradores de forma a otimizar os 6 equipamentos no processo de operação. Ainda nos cloradores há a possibilidade em se dosar nos ejetores 1, 2 e 3, conforme figuras 6 e 7.



Figura 6 – Sala dos cloradores / dosadores de cloro na ETA RJCS

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).



Figura 7 – Sala dos cloradores / dosadores de cloro na ETA RJCS (detalhe do dosador).

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

O gás cloro é transportado para os cloradores através do vácuo produzido nos ejetores, localizados próximos aos pontos de aplicação. Ainda nos cloradores, este gás passa por um rotômetro de vidro (flutuador) que efetua a medição de dosagem em kg/24 horas. O controle de dosagem é feito manualmente, atuando-se diretamente nos cloradores, sendo realizado monitoramento da análise de cloro residual, no laboratório da ETA, conforme figuras 8, 9 e 10.



Figura 8 – Centro de Controle Operacional – CCO da ETA RJCS

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).



Figura 9 – Laboratório da ETA RJCS (análise de água em todas as fases do tratamento).

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

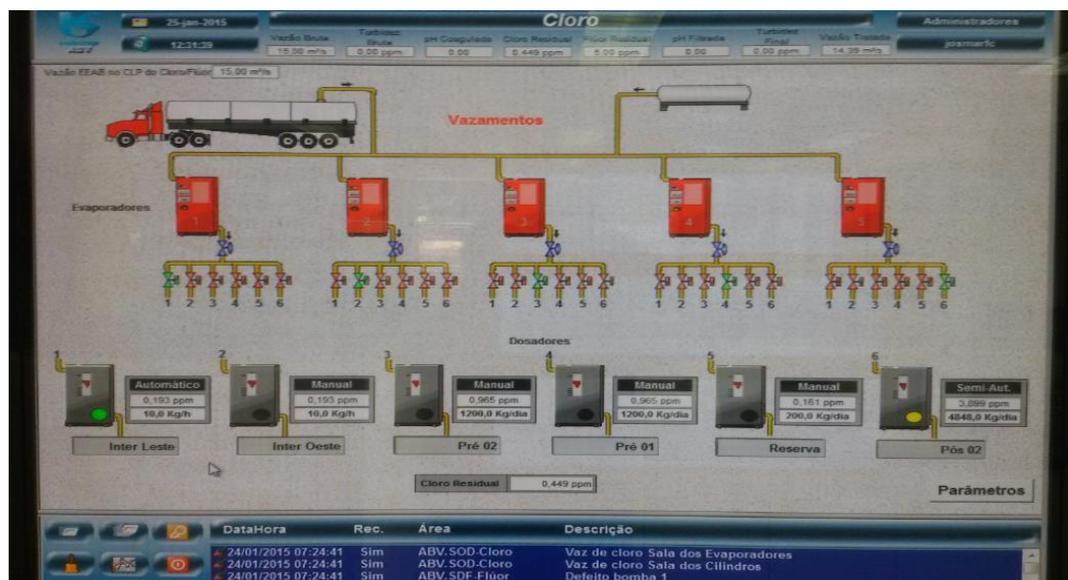


Figura 10 – Tela de visualização do CCO.

Fonte: Abiatar (2015).

Os cloradores possuem saída 4-20 mA (miliamper) para automação do processo através do supervisor, instalado na sala de controle do sistema de carvão, podendo assim ser operados tanto no modo manual quanto no automático (com dosagem fixada e variação pela vazão). O sistema possibilita a dosagem de cloro através de cilindros de 900 kg e de carreta de 18 a 21 toneladas.

Nos cilindros de cloro existem 2 berços, contendo 6 cilindros conectáveis cada, com linhas independentes e com possibilidade de interligação entre elas, assim como duas linhas de aplicação pela carreta, também independentes.

A troca de cilindros de cloro já ocorre no modo automático e a capacidade de dosagem do sistema é de 30.000 libras/24 horas.

#### **3.1.4 Desinfecção na ETA RJCS**

Consiste na destruição de microorganismos patogênicos (capazes de causar doenças) e outros compostos indesejáveis, garantindo a potabilização da água para abastecimento.

A dosagem de cloro pode ter como benefícios adicionais a redução de cor no processo de coagulação e o controle da matéria orgânica nos filtros e decantadores. Por estas razões, é mantido um residual de cloro ao longo de todo o processo.

O sistema de cloração da ETA RJCS possui 05 evaporadores e 06 cloradores para o processo de desinfecção e três pontos de aplicação de cloro até o reservatório, a saber:

- Ponto 1: tubulação de água bruta, chamados de pré-leste I, pré-leste II, pré-oeste I e pré-oeste II;
- Ponto 2: no canal de água decantada, chamada inter-cloração leste e inter-cloração oeste e;
- Ponto 3: antes da entrada do reservatório denominada pós-cloração I e II.

No primeiro ponto de aplicação o cloro além de iniciar a desinfecção irá promover também a oxidação da matéria orgânica e inorgânica, isto é, a matéria a ser oxidada se tornará insolúvel na água e, portanto, passível de floculação e sedimentação.

No segundo ponto a adição é feita para manter um residual de cloro nos filtros e assim garantir que não ocorra o desenvolvimento de microrganismos no leito filtrante.

Finalmente, no terceiro ponto de aplicação de cloro, sua importância consiste em manter a água desinfetada, protegendo-a de possíveis contaminações no sistema de distribuição. Por isso, o cloro residual livre na água tratada é mantido em torno de 2,0 mg/L. O residual típico de cloro combinado é 0,2 mg/L.

### **3.1.5 Processos do tratamento na ETA RJCS que há aplicação do cloro**

#### **3.1.5.1 Chegada da água bruta na ETA RJCS**

É nesta fase que é recebida a água do manancial dentro da estação para iniciar seu tratamento. Já recebeu produtos químicos no próprio manancial, principalmente o cloro, e ao chegar na estação de tratamento, também receberá mais produtos químicos em quantidades necessárias e estabelecido pelas análises em laboratório das amostras coletadas pelos operadores.

#### **3.1.5.2 Sistema de coagulação / floculação da ETA RJCS**

É o processo no qual a água recebe substâncias químicas, que pode ser o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, entre outras. Este produto faz com que as impurezas da água reajam com a substância química, formando compostos mais pesados, flocos, para serem facilmente removidos no processo seguinte. Será adicionado cloro residual ou não dependendo da qualidade da água.



Figura 11 – Flocculadores.

Fonte: Sabesp (2013).

### 3.1.5.3 Sistema de decantação da ETA RJCS

Na decantação, como os flocos de sujeira são mais pesados do que a água, caem e se depositam no fundo do decantador. O período médio de retenção da água nesses tanques é de três horas. Também será adicionado cloro residual ou não dependendo da qualidade da água.



Figura 12 - Decantadores

Fonte: Sabesp (2013).

### 3.1.5.4 Sistema de filtração da ETA RJCS

Nesta fase, a água passa por várias camadas filtrantes, compostas por areias de granulometria variada, onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A água então fica livre das impurezas. Estas três etapas: floculação, decantação e filtração recebem o nome de clarificação. Nesta fase, todas as partículas de impurezas são removidas deixando a água límpida. Mas ainda não está pronta para ser usada. Para garantir a qualidade da água, após a clarificação é feita a desinfecção.



Figuras 13 – Filtros.

Fonte: Sabesp (2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi possível identificar que o processo de recebimento e armazenamento de cloro na ETA RJCS é do tipo carreta estacionária trazida por caminhões-tanques. Total de 02 (duas) carretas de 18t e 21t, sendo uma operando como reserva, ou seja, quando uma esvaziar a outra entra em operação e já é solicitado do fornecedor Unipar Carbocloro outro caminhão-tanque, deixando outro tanque cheio com cloro líquido, transportando-se o tanque vazio para a fábrica na cidade de Cubatão.

Existem também cilindros de cloro líquido no Sistema de Cloração da ETA RJCS, apenas em caso de eventual necessidade de utilização devido a algum imprevisto de transporte de cloro pelos caminhões-tanques do fornecedor (acidente no trajeto, insuficiência de produção na fábrica, trajeto interditado, situação econômica do país envolvendo matérias primas do setor, elevado custo de energia elétrica em decorrência da crise hídrica, etc.). Somente estrategicamente, uma vez que o cloro líquido não se torna eficiente devido ao retardo de aplicação, não há um bom aproveitamento/rendimento, não é vendido em cilindros muito grandes, tendo que se dispor de diversos cilindros e se torna muito mais oneroso. Obviamente que, dependendo do porte da ETA poderá sim ser utilizado, tendo em vista não haver necessidade de dispor de muito cloro, como por exemplo, para abastecimento de cidades menores que não se exige muito tratamento e não compensa dispor muito recurso financeiro para um Sistema de Cloro-Gás como o da ETA RJCS.

Por meio dos evaporadores, o cloro líquido dos tanques sofre aquecimento e é transformado em cloro gás, pois neste estado físico há maior rendimento do produto para ser utilizado em todos os processos na ETA. Por meio de um sistema de operação à vácuo com ação de água, há o transporte desse cloro gás por tubulações até os respectivos pontos de aplicação nos processos, e por meio dos cloradores há o controle das dosagens em todos esses pontos. A função do evaporador é exatamente essa, ou seja, de acelerar o ganho de temperatura do cloro para que ele passe do estado físico líquido para o gasoso, pois em condições ambiente, demoraria muito tempo para que esse fenômeno ocorresse.

Foi identificado nessa visita o ponto fundamental de preocupação da empresa em evitar incidentes envolvendo vazamentos de cloro para a proteção de seus trabalhadores, haja vista a vulnerabilidade apresentada pelos tanques/carretas estacionado(a)s em ambiente externo, pois qualquer ocorrência de vazamento deixaria todos os profissionais daquela planta e os moradores vizinhos totalmente desprotegidos podendo ser atingidos/contaminados, apesar de já possuir sistema de alarme para alertar a todos, porém insuficiente.

Foi pensando nisso que a empresa tomou a iniciativa (local já em obra) de implantar o sistema de cloração com detecção de vazamento de cloro (2 detectores na sala de cilindro e 1 detector na sala dos evaporadores), assim como um sistema de neutralização desse gás, em ambiente controlado/confinado para estacionar as carretas/tanques com cloro, conforme demonstrado pelas Figuras 14 e 15.

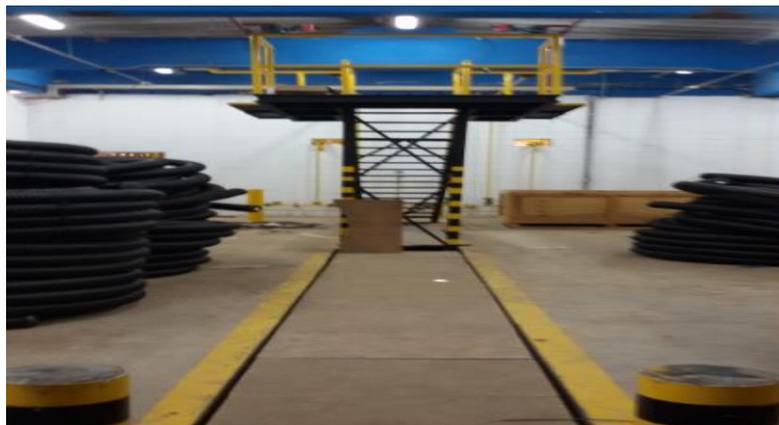


Figura 14 – Sala onde ficarão os tanques estacionados com cloro trazidos pelos caminhões, bem como sistema de exaustores na parte inferior da parede.

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

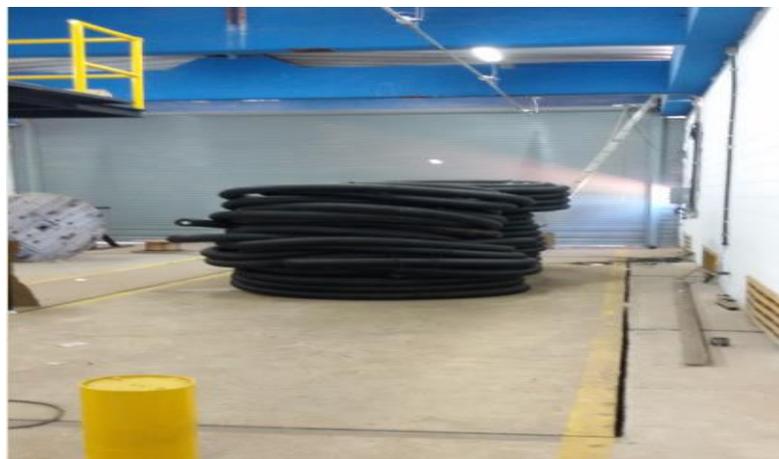


Figura 15 – Exaustores situados na parte inferior da parede da sala dos tanques com cloro

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

Em caso de vazamento, será acionado automaticamente o sistema de alarme de vazamento (visual e sonoro) e de exaustão, fazendo com que os gases cheguem na torre de neutralização, no qual serão neutralizados com uma solução de soda cáustica que é bombeada para a parte superior da torre que, em forma de “chuva”, reage com o gás, neutralizando sua toxicidade e formando o hipoclorito de sódio, conforme demonstrado pelas Figuras 16 e 17. Caso ocorra a perda da eficácia da solução neutralizadora, o gás aspirado é jogado na atmosfera pela parte superior da torre. Cabe também ressaltar que ao ser acionado o alarme em caso de ocorrer vazamento, também será possível visualizar à distância na tela do CCO no laboratório, pois também está em desenvolvimento um painel elétrico de comando automatizado.



Figura 16 – Torre de Neutralização ainda sem operação com Sistema Integrado de Bombeamento de Soda Cáustica.

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).



Figura 17 - Painel de comando automatizado em construção para a enviar dados da Torre de Neutralização para o CCO.

Fonte: Arquivo Pessoal (2015).

Com esta obra concluída, correspondente ao projeto de neutralização de cloro gás, além de se evitar a ocorrência de incidente trazendo segurança aos profissionais da Sabesp e moradores vizinhos, haverá também o aproveitamento total dos subprodutos em todos os processos da ETA, pois o hipoclorito de sódio (gás cloro + soda cáustica) possui a mesma função do cloro, apesar deste último ser mais eficiente devido a sua composição pura (sem mistura), além de sua eficácia, rendimento e velocidade de aplicação em sua forma gasosa, conforme citado anteriormente.

Após a ocorrência do vazamento, verifica-se o pH e o nível da solução no tanque de neutralização, cujo intuito é certificar se ainda há eficiência da soda e a quantidade necessária para o reaproveitamento em possíveis vazamentos futuros.

Constatou-se na visita realizada à ETA RJCS que há um Plano de abandono/Emergência de Cloro bem definido com a liderança e equipes operacionais, com realizações de treinamentos frequentes aos empregados, bem como capacitações para as novas contratações ou empregados transferidos de outras unidades recentemente, além da exigência de formação compatível para o exercício da atividade, e ao cumprimento à legislação vigente (NR15 e outras).

Pelo fato da ETA RJCS possuir área de grande dimensão e também não contemplar somente o setor operacional, possuem diversos outros setores administrativos e distantes uns dos outros, exigindo-se por isso 04 saídas de emergências para logradouros distintos, haja vista a facilidade de locomoção para fuga em caso de emergências/ocorrências de incêndio ou vazamento de cloro.

Diante desta importante questão referente à área intensa a ser considerada, constatou-se uma cultura prevencionista muito presente em atendimento à legislação com CIPA (NR 5) e a Brigada de Emergência muito atuantes, uma vez que a exigência se torna ainda maior devido aos diversos processos operacionais e administrativos existentes (10 edificações independentes) e os riscos que os profissionais da ETA e moradores vizinhos correm com quaisquer descuidos que venham a ocorrer. As Figuras 18 e 19 demonstram as atuações prevencionistas.



Figura 18 – Empregados abandonando a área pela rota de fuga para uma das portarias.

Fonte: Sabesp (2014).



Figura 19 - Equipe da Brigada de Emergência verificando se há pessoas próximas das áreas operacionais, principalmente dos tanques de cloro.

Fonte: Sabesp (2014).

A brigada de incêndio realiza simulados periódicos de incêndio e vazamento de cloro, para abandono do local de trabalho, trimestralmente, devido à complexidade e riscos envolvidos já citados anteriormente.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível identificar e mensurar o quanto se faz importante ampliar a conscientização para a preservação dos mananciais e das vidas das pessoas.

Foi possível também perceber o valor que a água potável representa para a saúde das pessoas e o quanto é desafiador para tratá-la e distribuí-la para as diversas famílias e vê-la saindo pelas torneiras de suas residências.

Infelizmente foi possível identificar os problemas relacionados ao uso e ocupação do solo de maneira desordenada com as habitações ou assentamentos irregulares às margens dos mananciais, prejudicando por demais a qualidade de suas águas. Sabe-se que, para solucionar esta questão de imensa complexidade, e que já toma proporções alarmantes, requer Políticas Públicas com atuações conjuntas entre as esferas dos Poderes Municipal, Estadual e Federal.

Constatou-se que, a crise hídrica de abastecimento público na cidade de São Paulo, de certa forma trouxe maior conscientização de parcela significativa da população que contribuiu com a Sabesp para a redução de consumo, não somente pela bonificação/desconto na fatura como também pela importância desse recurso finito. Por outro lado, percebeu-se que, ainda existem pessoas que continuam a desperdiçar este precioso líquido e outras que contribuem para o significativo aumento da poluição nos mananciais, principalmente àquelas que residem às margens da Billings e Guarapiranga.

Evidenciou-se com este trabalho que, dependendo do tipo de poluição encontrada no manancial, exigem-se esforços de elevada complexidade com utilização de tratamentos preliminares que antecedem a aplicação de produtos químicos na água. Primeiramente, coleta-se a amostra e realiza análise em laboratório para identificar qual o tipo de poluição existente para saber qual o tipo de produto ou tratamento deverá ser utilizado. Implantam-se as Ecobarreiras para a contenção da poluição difusa lançada nos rios, córregos, sarjetas, “bocas de lobo” que chegam aos mananciais pelas galerias, com a finalidade de não deixar este lixo se aproximar das bombas de recalque de água bruta que antecedem sua chegada à ETA RJCS.

A segunda etapa consiste em utilizar produto químico compatível ao combate da poluição encontrada. O cloro é utilizado quase que na totalidade do período, no entanto sua aplicação somente é interrompida quando, por exemplo, há a eutrofização (proliferação de algas devido à fotossíntese e a presença de matéria

orgânica), e dependendo do tipo de alga, utilizar algicidas para combatê-las, como por exemplo, o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), sulfato de cobre ou permanganato de potássio, ou seja, dependerá muito da sensibilidade de cada microorganismo encontrado. A presença de algas cianobactérias, potencialmente tóxicas, interrompe-se imediatamente a utilização de cloro e aplica-se outro produto químico com alto poder de destruição destas algas. Outro tipo de produto ou técnica utilizada é do carvão ativado para controle de odor e gosto da água, interrompendo-se também a aplicação de cloro. Para a oxidação se utiliza muito o permanganato de potássio concomitantemente ao cloro. Em síntese, quando há excesso de carga poluidora no manancial, realiza-se um pré-tratamento com produtos químicos compatíveis à neutralização para posterior continuidade de aplicação do cloro.

Foi fundamental para o melhor entendimento dos benefícios e riscos envolvendo o cloro, a visita realizada à fábrica da Unipar Carbocloro na cidade de Cubatão, onde foi possível conhecer sua produção e também os riscos envolvidos. Identificou-se também que o cloro possui inúmeras funções e não somente para o tratamento de água, haja vista a imensa lista de produtos fabricados que possuem seus derivados em suas composições e estão presentes no dia a dia das pessoas.

## 5. CONCLUSÕES

Foi possível concluir após estudos desenvolvidos nos itens 3 e 4 deste trabalho que, medidas preventivas de segurança estão em andamento na ETA RJCS para a proteção da vida dos trabalhadores e da população vizinha à estação, uma vez que a obra de confinamento e neutralização de cloro gás está em andamento de acordo com o previsto em projeto.

Fator considerado de maior relevância com a realização deste trabalho foi a confirmação da importância que o cloro representa para a sociedade, bem como comprometimento e conscientização dos profissionais que lidam com este produto químico diariamente, principalmente pela iniciativa de se criar condições de segurança para preservar a vida dos trabalhadores, bem como da população do entorno. Foi fundamental a iniciativa de reestruturação do processo de controle, confinamento e reaproveitamento do cloro em caso de possível ocorrência de vazamento na ETA RJCS, que propiciará benefícios significativos ao preservar a vida das pessoas contra eventos indesejáveis e/ou irreversíveis.

## 6. REFERÊNCIAS

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª Ed. São Carlos, RiMa, 2005. V.2.

Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e Cloro Derivados. **Manual de cloro**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, setembro, 1989.

Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e Cloro Derivados. **A indústria no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abiclor.com.br>>. Acesso em 11 de abril de 2015.

UNIPAR CARBOCLORO. **Clientes e Produtos**. Disponível em: <<http://www.uniparcarbocloro.com.br>>. Acesso em 26 de abril de 2015.

Água Brasil. Saneamento e Meio Ambiente. **Sistema de Avaliação da Qualidade da Água, Saúde e Saneamento**. Ministério da Saúde. Disponível em: <<http://www.aguabrasil.icict.fiocruz.br>>. Acesso em 11 de maio de 2015.

Ambiente Brasil, **Saneamento**. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/saneamento/tratamento\\_da\\_agua](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/saneamento/tratamento_da_agua)>. Acesso em 13 de maio de 2015.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Brigada de Emergência. Estação de Tratamento de Água Rodolfo José da Costa e Silva. **Relatório de exercício simulado**. São Paulo, dezembro, 2014.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Estação de Tratamento de Água Rodolfo José da Costa e Silva. **Procedimento Operacional PO-AG-0052**. 4ª Versão. São Paulo, 2014.