

**Estimativa dos Riscos à Saúde e Segurança
Relativa à Exposição ao Cloro e Clorofórmio para
os Frequentadores de Piscinas**

Este estudo foi conduzido sob o patrocínio da *The Sapphire Group, Inc.*, uma agência internacional relacionada com saúde pública, que dá consultoria sobre administração de riscos. A empresa reconhece a autoria primária de Robert G. Tardiff, Richard P. Hubner, Carol G. Graves, Christopher R. Kirmann, e Stacey A. Galik, e reconhece com gratidão a assistência de Leslie K. Dreves. A garantia de qualidade é creditada a Carol G. Graves. Informações sobre este trabalho podem ser obtidas contactando o abaixo-assinado em 301-657-8008 ou rgt@thesapphiregroup.com.

Robert G. Tardiff, Ph.D., ATS
Presidente e CEO

Resumo Executivo

A *Sapphire Group, Inc.* administrou este trabalho com o objetivo de se determinar cientificamente (1) se a concentração de 10 ppm de cloro não gera danos aos usuários de piscinas que foram supercloradas com gás ou outras formas de cloro como parte do processo de desinfecção e (2) se a exposição ao clorofórmio, um subproduto da cloração, também não promoveria danos à saúde dos banhistas durante o processo de desinfecção. Os resultados da avaliação crítica e análise dos dados sobre cloro e clorofórmio indicam que a concentração de 10 ppm de cloro na água de piscina é segura para os banhistas.

A USEPA, como parte do re-registro do cloro como desinfetante sob Ação Inseticida, Fungicida e Raticida Federal (FIFRA), propôs como padrão a concentração de 4 ppm de cloro ativo disponível (FAC)(USEPA, 1999).

A cloração de piscinas é uma medida essencial para proteger os usuários contra patogênicos como *E. coli* (0157:H7), *Giardia*, Hepatitis A, e *Cryptosporidium*. De acordo com Centers for Disease Control and Prevention (CDC), aproximadamente 10 eclosões de infecções gastroentéricas por ano em 1997 e 1998 foram causadas pelo parasita *Cryptosporidium*, e 90% estava “associada com o uso recreativo da água tratada em locais como piscinas...” (CDC, 2000a). A Washington State Environmental Health Association compilou uma lista dos tipos de doenças relacionadas à piscinas mal tratadas (WSPHA, 1997).

Para ser totalmente efetivo, o cloro (e muitos outros) deve apresentar continuamente uma concentração suficiente para atuar como barreira contra novos patogênicos. O alcance deste objetivo requer constante manutenção, mantendo um FAC residual entre 2-5 ppm, sendo o máximo de 10 ppm (NSPI, 1999). A supercloração periódica¹ para 10 ppm como recomendado pela National Spa and Pool Institute (NSPI, 1995, 1999) e National Swimming Pool Foundation (NSPF, 1990) é necessária para assegurar que o nível mínimo de cloro está sempre presente. Consequentemente, este estudo avaliou a segurança de 10 ppm como limite superior² para piscinas.

¹“Supercloração” é definida como a adição periódica de cloro na proporção de dez vezes a quantia do cloro “combinado”, também chamado cloraminas (Williams, 1999). Por exemplo, se a concentração de cloro combinado na água de piscina é 1 ppm, deve-se adicionar 10 ppm (10 x 1) de cloro. Em piscinas residenciais, a desinfecção deve ser feita periodicamente (semanalmente ou a cada quinzena), através da aplicação do gás ou outra forma de cloro, que é aplicado em quantidades suficientes para alcançar os benefícios da supercloração e para manter uma medida adequada à proteção da saúde dos banhistas.

Geralmente, a aplicação do cloro em piscinas é de dois tipos: (1) adição direta do cloro (incluindo gás, alvejante líquido, tablet e/ou cloro granulado) para piscinas residenciais feita pela própria pessoa ou empresa, e (2) a combinação da supercloração periódica e contínua alimentação de cloro através de um clorador fixo, como é normalmente encontrado em piscinas comerciais. Este estudo enfatizou o nível de cloro mantido para os banhistas independentemente de como este foi aplicado.

Para ser efetivo contra os organismos causadores de doenças que podem estar presentes em piscinas, deve-se adicionar uma quantidade suficiente de cloro para destruir não somente os patogênicos, mas também para controlar ou remover algas e qualquer outro material orgânico oxidável presente na água. Este processo, chamado supercloração (incluindo cloração no "breakpoint"), facilitou a manutenção da concentração eficaz de cloro livre disponível³ nos intervalos das superclorações e minimizou a formação das cloraminas cuja presença é indesejável.

Assim, fixar em 4 ppm o teor de cloro ativo disponível máximo pode dificultar a manutenção de cloro residual suficiente em algumas partes da piscina quando a temperatura e a carga orgânica proveniente dos banhistas e outras fontes são altas. Além disso, um máximo de 4 ppm FAC também desencoraja o tratamento de "choque" e a supercloração que são necessárias para alcançar uma adequada proteção à saúde pública. De fato, a comunidade relacionada à saúde pública observou que alguns administradores de piscinas públicas, preocupados com o nível do FAC que poderia exceder 4 ppm no dia seguinte à supercloração, se continham a esta prática (supercloração), o que aumentava apreciavelmente o risco da desinfecção ser inadequada para prevenir a desenvolvimento de doenças hídricas entre os banhistas. Um inquestionável benefício à saúde pública de uma cloração adequada para desinfecção de água foi reportada pelo International Life Institute (Craun, 1993) oferecendo valiosas informações sobre o uso do cloro para proteger quem frequenta piscinas cloradas, seja esta residencial ou pública.

Desde a primeira recomendação da USEPA sobre as diretrizes de reentrada, informações científicas adicionais se tornam disponíveis para garantir uma reavaliação dos valores de reentrada. A USEPA também fez esta indicação, considerando que as diretrizes originais tinham sido baseadas em considerações relativas aos perigos relacionados somente ao cloro. A USEPA está expandindo consideravelmente suas avaliações com o objetivo de incluir o clorofórmio, um subproduto oriundo da combinação do cloro com a matéria orgânica natural do meio.

² Nenhuma concentração superior a 10 ppm foi enviada.

³ "Cloro livre disponível" (FAC, também cloro livre) é definido como sendo a combinação do ácido hipocloroso e o íon hipoclorito (NSPI, 1995).

Este estudo tinha como objetivo examinar todas as informações relevantes para determinar se as diretrizes de reentrada poderiam elevar justificavelmente a proposta de 4 ppm para 10 ppm de cloro. O estudo examinou primeiro os dados relativos ao cloro, e posteriormente, os relacionados ao clorofórmio.

Cloro

Os resultados indicaram que a exposição da pele e a ingestão de cloro a 10 ppm nas piscinas não geraram riscos à saúde e que a inalação por parte dos banhistas do gás cloro é improvável de ocorrer nas concentrações usadas para desinfecção. Para ingestão acidental de água clorada, a margem de exposição é amplamente protetora à saúde pública. Entretanto, a margem de exposição para contato com a pele não pode ser estimado por causa das limitadas informações toxicológicas; evidências indiretas (incluindo 4 ppm MRDLG para cloro que é considerado seguro com uma adequada margem de segurança pela USEPA para banho e/ou ducha) sugere que exposições da pele à concentrações superiores a 10 ppm não causarão danos. Além disso, o volume de

água ingerido durante o uso da piscina (*i.e.*, 0,05 L) é consideravelmente pequeno quando comparado com o que a USEPA se baseia para 4 ppm MRDLG (*i.e.*, 2 L), e, conseqüentemente, a ingestão de água clorada durante o banho de piscina não gera riscos à saúde.

Desde que o gás cloro esteja uma vez na água na concentração usada em piscinas, este não está apto a volatilizar; a inalação é considerada ausente e assim não representa risco à saúde.

Conseqüentemente, a reentrada de 10 ppm de cloro não é somente segura para banhistas de todas as idades, mas também é a maior proteção contra a exposição à patogênicos. Conseqüentemente, existe uma justificativa para se revisar as diretrizes de reentrada de 4 ppm para 10 ppm de cloro livre disponível. Tal mudança poderia promover um benefício contínuo à saúde pública no controle de patogênicos na águas das piscinas.

Clorofórmio

Os resultados para clorofórmio são apresentados separadamente para usuários de piscinas ao ar livre e piscinas em recinto fechado, uma vez que a maioria das piscinas tratadas com gás cloro são piscinas ao ar livre. Além disso, a distribuição estatística dos dados para cada grupo parecem ser diferentes.

A dose máxima obtida pelos banhistas em piscinas ao ar livre (que inclui a maioria das piscinas residenciais que empregam o gás cloro como modo de aplicação) produziram uma margem de exposição de 5200 a 30400 para contato com a pele; 100 para inalação; e 600 a 3500 para ingestão. A margem de exposição (MoE) é baseada no NOAELs que incorpora fatores de incerteza que são direcionados às diferenças de susceptibilidade entre as espécies e entre os humanos. Estes valores de MoE são conservativos já que incorporam fatores duvidosos na relação de ajuste entre os valores observados e as situações inerentes aos humanos, e confiam em medidas de exposição máximas. Caso se usasse o ponto médio das variações das concentrações para estimar o MoE, este poderia ser superior, uma vez que a maioria da população que é exposta à doses inferiores às máximas poderiam obter uma proteção adicional com 10 ppm de cloro, enquanto seriam protegidas contra patogênicos através do uso regular da supercloração. Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores.

Comparações similares foram feitas com os dados do clorofórmio para piscinas de recinto fechado, que incluem principalmente piscinas comerciais. Os resultados eram comparáveis para o contato com a pele (8000-46600) e ingestão (400-2430); entretanto, o MoE para inalação foi um pouco inferior (15-75) se comparado ao das piscinas ao ar livre. Este resultado pode ser melhor relacionado com o mínimo fluxo de ar do recinto fechado para dissipar o ar sobre as águas das piscinas, aumentando assim a concentração de clorofórmio sobre a água e na área de respiração dos banhistas. Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores.

A avaliação dos riscos e da segurança do clorofórmio é um pouco mais complexa do que a do cloro, por várias razões. Ao contrário do cloro, o clorofórmio é um agente tóxico sistêmico; conseqüentemente, as doses para várias faixas de exposição são somadas para refletir a exposição total. As doses sistêmicas de clorofórmio são estimadas por

faixas individuais de exposição e então somadas para produzir doses sistêmicas cumulativas. As doses mais altas foram comparadas com o NOAEL mais conservativo para clorofórmio (ingestão crônica). O MoE resultante foi 14, que provê uma margem de segurança adicional para a incorporação ajustada aos humanos no NOAEL. O valor recentemente recomendado pela USEPA como base para o MCLG é 300 ppb para clorofórmio na água para ingestão. Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores (*i.e.*, 1400).

É notável que as concentrações de clorofórmio medidas dentro e ao redor das piscinas foi obtido em instalações seguindo os processos tradicionais de cloração incluindo uma regular supercloração. A quantidade de clorofórmio produzida durante a supercloração com o gás cloro poderia ser não superior à reportada, uma vez que neste grau de cloração, a oxidação dos subprodutos (dos quais um é o clorofórmio) poderia ser superior aos 3 a 5 ppm de FAC encontrados comumente em piscinas. Assim, estes resultados poderiam ser aplicados com correspondência às piscinas nas quais a supercloração (seja através de cloração periódica com gás, seja através de outro processo) é o meio de desinfecção e proteção à saúde.

Consequentemente, os níveis de clorofórmio aos quais os banhistas são expostos têm a concentração de 10 ppm de cloro, sem importar os meios de cloração, provendo uma certeza razoável da não ocorrência de danos à saúde dos banhistas. Estas descobertas deram um forte suporte para a confiabilidade de 10 ppm de cloro como orientação para reentrada dos banhistas nas piscinas tratadas com cloro. A adoção de 10 ppm de cloro como valor de reentrada irá assegurar uma proteção contínua à saúde pública sem contribuir com a possibilidade de haver riscos à saúde dos banhistas.

4. Caracterização de Riscos: Níveis Seguros de Reentrada de Cloro para Banhistas

Este estudo foi conduzido para determinar se haveria algum risco à saúde quando indivíduos são expostos ao cloro e clorofórmio quando estes frequentam piscinas periodicamente supercloradas com mais de 10 ppm de cloro para controlar os patogênicos. Esta informação serve de guia no estabelecimento do nível de reentrada de cloro, que pondera os valores de desinfecção à saúde pública com a segurança do desinfetante e um dos seus subprodutos (clorofórmio).

Determinar se nadando em águas que contém periodicamente 10 ppm de cloro requer informações atenciosas sobre a toxicidade do cloro e do clorofórmio (um subproduto do cloro interagindo com a matéria orgânica) e o grau de exposição humana a todas as faixas de exposição relevantes.

A seguir são apresentados os resultados da combinação das informações de exposição (Capítulo 2) com as informações dos riscos (Capítulo 3). Os resultados são apresentados como a matriz de cada composto que traz consigo informações sobre as faixas e os tempos de exposição – fatores que estão diretamente relacionados com as estimativas de segurança e riscos aos humanos. A medida usada para definir segurança é a margem de exposição ou MoE entre a exposição atual sob as condições atuais da prática de desinfecção nos Estados Unidos e o NOAELs¹⁶.

4.1. Cloro

A segurança e o risco para aqueles que frequentam piscinas supercloradas periodicamente com gás ou outra forma de cloro é caracterizada pela comparação dos níveis antecipados de exposição ao cloro aquoso considerados improváveis de causarem danos à saúde. Os resultados são apresentados na **Tabela 9**.

Os resultados indicam que, para o contato com a pele, de vez em quando ocorrem exposições superiores a 10 ppm; entretanto, o NOAEL verdadeiro é um pouco superior a esta concentração. Contudo, não é possível determinar o MoE neste caso, uma vez que as descobertas toxicológicas são muito limitadas. Ainda assim, sobre o rumo de seu uso, poucas, até mesmo anedóticas informações sobre efeitos adversos sobre a pele foram documentadas, sugerindo que o cloro a concentrações relativamente altas não causa danos à pele. Quando estabelecido 4-ppm de cloro MRDLG, a USEPA determinou que tal concentração é razoavelmente improvável de causar danos, com uma adequada margem de segurança para a pele daqueles que se banham com tal água tratada.

¹⁶Em contraste com o modo usado para estimar o MoE, a USEPA dividiu experimentalmente os NOAEL derivados por dose.

Como notado anteriormente, o gás cloro, uma vez na água na concentração usada nas piscinas, não está apto a volatilizar; conseqüentemente, é considerada ausente a exposição por inalação.

Um pouco de água clorada é ingerida durante o banho de piscina. Entretanto, amplas margens de exposição e segurança existem para assegurar que esta faixa de exposição não gera riscos à saúde humana. O volume de água ingerido é consideravelmente menor do que o que a USEPA a 4 ppm MRDLG informa que é improvável de causar riscos à saúde.

Conseqüentemente, a reentrada de 10 ppm de cloro não é somente segura para banhistas de todas as idades, como também promove uma maior segurança contra patogênicos.

4.2. Clorofórmio

A decisão sobre as diretrizes de reentrada para cloro em piscinas periodicamente tratadas são provavelmente para considerar os possíveis riscos à saúde que podem ser causados pelos subprodutos da cloração, como por exemplo o clorofórmio. A segurança e os riscos para os que nadam em piscinas periodicamente tratadas com gás ou outra forma de cloro com concentração superior a 10 ppm é caracterizada pela comparação das doses antecipadas para clorofórmio consideradas improváveis de gerar danos à saúde. Os resultados são apresentados nas **Tabelas 10-12**.

Os resultados para clorofórmio são apresentados separadamente para usuários de piscinas ao ar livre e piscinas em recinto fechado, uma vez que a maioria das piscinas tratadas com gás cloro são ao ar livre, além da distribuição estatística dos dados para cada grupo aparentar ser bem diferente. A dose máxima obtida pelos banhistas em piscinas ao ar livre (que inclui a maioria das piscinas residenciais que empregam o gás cloro como modo de aplicação) produziu uma margem de exposição de 5200 a 30400

para contato com a pele; 100 para inalação; e de 600 a 3500 para ingestão (**Tabela 10**). A margem de exposição (MoE) é baseada no NOAELs ajustado para humanos que incorpora fatores de incerteza direcionados para as diferenças de susceptibilidade entre as espécies e os humanos. Se o ponto médio das faixas de concentração fosse usado para estimar o MoE, este poderia ser superior, sugerindo que a maioria da população que é exposta a concentrações inferiores à máxima medida poderia obter uma medida adicional de segurança a 10 ppm de cloro, enquanto seria protegida contra patógenos através do uso regular da supercloração.

Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores.

Comparações similares foram feitas com os dados do clorofórmio para piscinas em recinto fechado, que inclui principalmente piscinas comerciais. Os resultados foram comparáveis para contato com a pele (8000-46600) e ingestão (400-2430); entretanto, o MoE para inalação foi um pouco inferior (15-75) ao das piscinas ao ar livre. Este resultado pode ser melhor relacionado com o mínimo fluxo de ar em recintos fechados para dissipar o ar sobre a água das piscinas, aumentando assim a concentração de clorofórmio sobre a água e na zona de respiração dos banhistas. Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores.

A avaliação dos riscos e da segurança do clorofórmio é um pouco mais complexa do que a do cloro, por várias razões. Ao contrário do cloro, o clorofórmio é um agente tóxico sistêmico; conseqüentemente, as doses para várias faixas de exposição são somadas para refletir a exposição total. As doses sistêmicas de clorofórmio são estimadas por faixas individuais de exposição e então somadas para produzir doses sistêmicas cumulativas. As doses mais altas foram comparadas com o NOAEL mais conservativo para clorofórmio (ingestão crônica). O MoE resultante foi 14, que provê uma margem de segurança adicional para a incorporação ajustada aos humanos no NOAEL. O valor recentemente recomendado pela USEPA como base para o MCLG é 300 ppb para clorofórmio na água para ingestão. Aplicando-se o método da USEPA para estimar o RfD e RfC, o MoE para cada valor poderia ser aproximadamente 100 vezes superior aos nossos valores (*i.e.*, 1400).

É notável que as concentrações de clorofórmio medidas dentro e ao redor das piscinas foi obtido em instalações seguindo os processos tradicionais de cloração incluindo uma regular supercloração. A quantidade de clorofórmio produzida durante a supercloração com o gás cloro poderia ser não superior à reportada, uma vez que neste grau de cloração, a oxidação dos subprodutos (dos quais um é o clorofórmio) poderia ser superior aos 2 a 5 ppm de FAC encontrados comumente em piscinas. Esta conclusão é comprovada pelo trabalho de Clark e Sivaganesan (1998) cujo estudo demonstrou a quantidade de trihalometanos totais (dos quais um é o clorofórmio) formados sob valores constantes de carbono orgânico total (TOC), pH, e com um aumento relativamente pequeno da temperatura; mudanças na temperatura representam um maior impacto na formação dos trihalometanos do que uma alteração na quantidade de cloro. Assim, estes resultados poderiam ser aplicados com correspondência para piscinas que utilizam a tratamento com gás cloro como meio de desinfecção e proteção à saúde.

Conseqüentemente, os níveis de clorofórmio aos quais os banhistas são expostos em piscinas cloradas, independente do processo de cloração, não causam riscos à saúde. Estas descobertas deram um forte suporte para a confiabilidade de 10 ppm de cloro como

orientação para reentrada dos banhistas nas piscinas tratadas com cloro. A adoção de 10 ppm de cloro como valor de reentrada irá assegurar uma proteção contínua à saúde pública sem contribuir com a possibilidade de haver riscos à saúde dos banhistas.

Tabela 9. Comparação do limite superior de exposição ao cloro por parte dos usuários de piscinas com o NOAELs ajustado para humanos

Argu- mento	Dermal			Inalação			Ingestão		
	Exposição (µg/L H ₂ O)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/L H ₂ O)	MoE ²	Exposição (µg/m ³)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/m ³)	MoE ²	Exposição (µg/k-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/kg-d)	MoE ²
Sub- crônica	1-10	>10	?	0 (est.)	2433	.	0,02	140	7000
Crônica	1-10	>10	?	0 (est.)	2433	.	0,02	140	7000
Aguda	1-10	>10	?	0 (est.)	4866	.	0,02	9000	450.000

¹Fatores de incerteza são incorporados nestes valores.

²MoE = margem de exposição que é obtida através da divisão do NOAEL ajustado para humanos pela estimativa de exposição correspondente.

Tabela 10. Comparação do limite superior de exposição ao clorofórmio por parte dos usuários de piscinas ao ar livre com o NOAELs ajustado para humanos

Argu- mento	Dermal			Inalação			Ingestão		
	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²
Sub- crônica	0,23	3600	15650	10	1000	100	1,03	1800	1800
Crônica	0,23	1200	5200	10	600	100	1,03	600	600
Aguda	0,23	7000	30400	10	3000	100	1,03	3500	3500

¹Fatores de incerteza são incorporados nestes valores.

²MoE = margem de exposição que é obtida através da divisão do NOAEL ajustado para humanos pela estimativa de exposição correspondente.

µg/p-d = microgramas de clorofórmio por pessoa por dia.

Tabela 11. Comparação do limite superior de exposição ao clorofórmio por parte dos usuários de piscinas em recinto fechado com o NOAELs ajustado para humanos

Argu- mento	Dermal			Inalação			Ingestão		
	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²	Exposição (µg/p-d)	Adjusted Human NOAEL ¹ (µg/p-d)	MoE ²
Sub- crônica	0,15	3600	24000	40.8	1000	24	1,44	1800	1250
Crônica	0,15	1200	8000	40.8	600	15	1,44	600	400
Aguda	0,15	7000	46600	40.8	3000	75	1,44	3500	2430

¹Fatores de incerteza são incorporados nestes valores.

²MoE = margem de exposição que é obtida através da divisão do NOAEL ajustado para humanos pela estimativa de exposição correspondente.

µg/p-d = microgramas de clorofórmio por pessoa por dia.

Tabela 12. Comparação do limite superior cumulativo de exposição ao clorofórmio relativo aos usuários de piscinas com o mais conservativo NOAEL ajustado para humanos

Exposição (mg/p-d)				Adjusted Human NOAEL ³ (mg/p-d)	MoE ⁴
Dermal ¹	Inalação ²	Ingestão ²	TOTAL		
0,23	40,8	1,44	42,5	600	14

¹ Baseado na concentração máxima reportada em piscinas ao ar livre.

² Baseado na concentração máxima reportada em piscinas de recinto fechado.

³ NOAEL ajustado para humanos para ingestão crônica de clorofórmio; inclui fator de incerteza de 100.

⁴ MoE = margem de exposição que é obtida através da divisão do NOAEL ajustado para humanos pela estimativa de exposição correspondente. Usando os métodos RfD e RfC da USEPA, o MoE poderia ser 1400.

µg/p-d = microgramas de clorofórmio por pessoa por dia.