

## **II-450 - FICORREMEDIAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E REMOÇÃO DE COMPOSTOS-ALVO ORGÂNICOS E INORGÂNICOS**

**André Luís de Sá Salomão<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

**Grazielle Christine de Mattos da Silva**

Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

**Camila de Carvalho Reis Motta**

Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

**Gabriele Araújo Correa da Rocha**

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

**Marcia Marques Gomes**

Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 20550-900, Brasil, Tel.: (21) 23340959, e-mail: [andre@andresalomao.com](mailto:andre@andresalomao.com)

### **RESUMO**

Esgotos domésticos lançados no ambiente representam um dos problemas mais graves e crônicos em termos ambientais e de saúde pública no Brasil. O uso da Fitorremediação para o tratamento desses esgotos configura-se em estratégia promissora, devido ao baixo custo, boa eficácia e simplicidade operacional. O objetivo do presente estudo foi avaliar três espécies de microalgas fotossintéticas unicelulares quanto à remoção e biotransformação de alguns compostos orgânicos e inorgânicos presentes em efluentes domésticos, com vistas à aplicação como tratamento terciário de esgoto em sistemas de tratamento descentralizados. As 3 espécies de microalga apresentaram crescimento significativos quando expostas aos compostos inorgânicos e orgânicos, se comparadas com os respectivos controles. Não foram verificados efeitos de toxicidade crônica de inibição de crescimento. Sendo assim, em 72 h as 3 espécies (na densidade inicial de  $10^7$  algas/mL) apresentaram potencial para remoção de compostos inorgânicos e orgânicos, mesmo nas concentrações iniciais mais altas. Maiores eficiências de redução da concentração dos compostos inorgânicos foram alcançadas em tempos superiores a 72 h, principalmente para o fósforo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitorremediação, Densidade de alga, Produção de biomassa, Biotransformação, Tratamento terciário.

### **INTRODUÇÃO**

O avanço das tecnologias de produção de alimentos, medicamentos e tratamentos médicos possibilitaram melhores condições de vida e um crescente aumento na expectativa média de vida da população mundial, principalmente nas últimas décadas. O crescimento acelerado das populações mundiais vem causando o aumento no consumo de água e a consequente geração de esgotos (efluentes domésticos, municipais, industriais e de centros de pesquisa e ensino), aumentando o risco de contaminação e a quantidade de doenças geradas.

Esgotos domésticos lançados no ambiente representam um dos problemas mais graves e crônicos de saúde humana e ambiental no Brasil. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2017), do total de esgoto gerado nos municípios atendidos com abastecimento de água, somente cerca de 43% sofreram algum tipo de tratamento, e cerca de 57% de todo esgoto gerado no Brasil foi lançado in natura em corpos hídricos. Tal cenário é incompatível com qualquer planejamento que vise a elevação do nível socioeconômico e sanitário de uma população e a preservação ambiental.

Os esgotos sanitários são constituídos por 99,9% de água. Todavia, as impurezas que completam sua constituição são: proteínas, carboidratos, lipídeos, amônia, nitrato, ortofosfatos, bactérias, algas, protozoários, vírus e helmintos (VON SPERLING, 2006; METCALF & EDDY, 2016), sendo a matéria orgânica em decomposição a principal responsável por suas características indesejáveis (VON SPERLING, 2006), impedindo o seu consumo e qualquer atividade relacionada ao contato primário, sem um tratamento avançado adequado.

A fitorremediação é definida como sendo a utilização de algas para remover e/ou biotransformar substâncias tóxicas (ou não), que podem causar danos ao meio ambiente (HANUMANTHA RAO et al., 2011). Algumas espécies de microalgas fotossintéticas unicelulares, tais como *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus subspicatus* e *Raphidocelis subcapitata* têm sido utilizadas (separadas ou em conjunto) em estudos de toxicidade, remoção e biodegradação de fármacos e outros compostos químicos, e até no tratamento de águas residuais (DANESHVAR et al., 2018a; JI et al., 2018; LIU et al., 2018; MAES et al., 2014; SALOMÃO et al., 2014; SHEN; GAO; LI, 2017). O tratamento de águas residuárias por fitorremediação tem atraindo o interesse por ser uma tecnologia de baixo custo (operacional e de infraestrutura), por ter uma alta capacidade de remoção de nutrientes e altas taxas de produção de biomassa, com possibilidade de aplicação para produção de biocombustíveis (DANESHVAR et al., 2018a). Outra vantagem da aplicação das microalgas no tratamento do efluente é a capacidade que estas têm de se desenvolver em conjunto com outros microrganismos, tais como bactérias, possibilitando uma interação interespecífica de protozooperação, tornando o tratamento mais eficiente na remoção e biotransformação de fármacos e outros compostos químicos (JI et al., 2018; SHEN; GAO; LI, 2017).

## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar três espécies de microalgas fotossintéticas unicelulares, normalmente utilizadas em ensaios de ecotoxicidade, quanto a remoção e biotransformação de alguns compostos orgânicos e inorgânicos presentes em efluentes domésticos, com vistas à avaliação da fitorremediação como tratamento terciário de esgoto em sistemas de tratamento descentralizados.

## METODOLOGIA

### Cultivo das algas

As microalgas unicelulares fotossintéticas, *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus subspicatus* e *Raphidocelis subcapitata* foram cultivadas e mantidas em incubadoras com fotoperíodo e temperatura controlada, de acordo com a Norma ABNT NBR 12648 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). As espécies de microalgas foram adquiridas do banco de algas da Universidade de Göttingen, Alemanha (SAG) e do banco de algas da Universidade de Linnaeus, na Suécia. Os cultivos foram replicados numa frequência mensal e o crescimento e desenvolvimento dos cultivos foram acompanhados quinzenalmente por contagem em microscópio, medição da clorofila in vivo por fluorescência (485 nm de excitação e 685 nm de emissão) e mensalmente por carta controle, segundo ABNT NBR 12648 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

### Bioensaios de remoção e biotransformação de compostos orgânicos e inorgânicos por microalgas

Os ensaios estáticos de remoção e biotransformação de compostos orgânicos e inorgânicos geralmente presentes em efluentes domésticos foram avaliados com a presença de 3 espécies de microalgas unicelulares fotossintéticas durante um período de 3 dias (72 h) com monitoramento a cada 24 h e após 14 dias (336h). Além da produção de biomassa por cada espécie de microalga, foi avaliado o potencial de remoção dos seguintes compostos: amônia (NH<sub>3</sub>); nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); fósforo (P<sub>tot</sub>) e carga orgânica (glucose, medido como demanda bioquímica de oxigênio-DQO) (Tabela 1). Visando a aplicação da fitorremediação como tratamento terciário de esgoto doméstico em sistemas de tratamento descentralizados. As concentrações baixas e altas de cada composto foram determinadas pela faixa típica encontrada no afluente e nos efluentes finais de ETEs. O efeito tóxico foi determinado pela inibição do crescimento da biomassa de alga, comparado com o controle negativo, sob as mesmas condições de ensaio.

**Tabela 1: Concentração dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes em efluentes domésticos, utilizados em misturas de baixa e alta concentração para avaliação da fitorremediação por 3 espécies.**

Compostos	Microalgas	Concentração Baixa nominal (mg/L)	Concentração Baixa real (mg/L)	Concentração Alta nominal (mg/L)	Concentração Alta real (mg/L)
Nitrato	<i>R. subcapitata</i>	10	14	20	21
	<i>D. subspicatus</i>	10	12	20	19
	<i>C. vulgaris</i>	10	11	20	19
Amônia	<i>R. subcapitata</i>	2,5	2,4	5,0	7,3
	<i>D. subspicatus</i>	2,5	1,0	5,0	5,5
	<i>C. vulgaris</i>	2,5	1,0	5,0	5,3
Fósforo <sup>#</sup>	<i>R. subcapitata</i>	4,5	45	9,0	97
	<i>D. subspicatus</i>	4,5	45	9,0	94
	<i>C. vulgaris</i>	4,5	42	9,0	90
DQO*	<i>R. subcapitata</i>	300	344	600	570
	<i>D. subspicatus</i>	300	309	600	540
	<i>C. vulgaris</i>	300	115	600	376

<sup>#</sup> Erro de cálculo em 10x na solução padrão do fosfato.

\* A demanda química de oxigênio – DQO foi utilizada para quantificar a carga orgânica da glucose.

O pré-cultivo das microalgas foi iniciado de três a cinco dias antes do ensaio em meio L.C. Oligo, ou até que as microalgas apresentassem crescimento exponencial. No dia do bioensaio, para evitar a interferência de alguns compostos presentes no meio de cultivo, o inóculo foi centrifugado (15 min, 2000 rpm a 4 °C) e o sobrenadante foi descartado. Após a centrifugação de todo o volume do inóculo do pré-cultivo, as microalgas sedimentadas foram transferidas gentilmente para os Erlenmeyers de 250 mL e avolumados para 250 mL com água mineral. A biomassa inicial de microalga do ensaio foi de 10<sup>7</sup> algas/mL. O ensaio foi realizado em estantes de cultivo e mantido em 25–27 °C, com aeração e iluminação contínua de aproximadamente 4.500 lux. As coletas (40 mL) para determinação da biomassa e do composto livre em água foram realizadas nos seguintes intervalos: 0; 24; 48; 72; e 336h.

A quantificação da biomassa das algas foi realizada por determinação da biomassa seca, com a filtração de 40 mL em membrana de fibra de vidro 0,2-0,6 µm, com pesagem do material retido após secagem em estufa a 50°C durante uma hora (ou até que fosse atingido peso constante em 2 pesagens consecutivas). As concentrações nominais dos compostos inorgânicos (amônia, nitrato e fósforo) e orgânicos foram obtidas a partir do cálculo estequiométrico dos compostos Cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl); Nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>); Fosfato de Potássio monobásico anidro (H<sub>2</sub>KO<sub>4</sub>P) e Glucose anidra (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), e foram analisadas respectivamente pelos métodos 4500-NH<sub>3</sub>-D; 4500-NO<sub>3</sub>-D; 4500-P-E e 5220-COD segundo os métodos propostos na APHA (2012). Os resultados foram analisados estatisticamente no programa estatístico GraphPad Prism (versão 5.02 para Windows, San Diego, EUA).

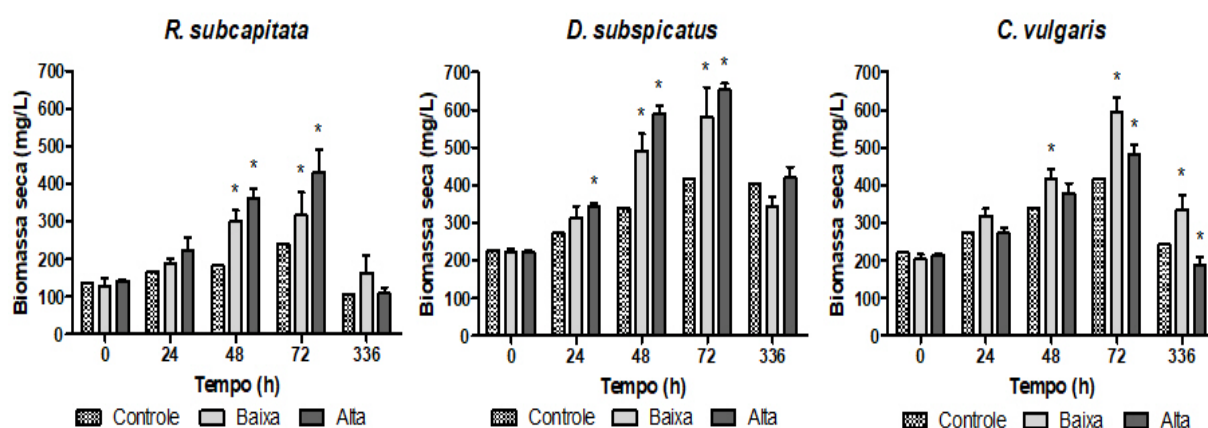
## RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO

### Produção de biomassa das 3 espécies de microalgas unicelulares

Ao longo das 336 h, a produção total de biomassa (mg/L) de cada espécie foi avaliada na presença dos compostos inorgânicos e orgânicos geralmente presentes em efluentes domésticos e comparada ao respectivo controle de cada espécie (Figura 1). A presença dos compostos avaliados na mistura ocasionou um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) na produção da biomassa das 3 espécies avaliadas a partir das 48h. Ao final das 336 h, foi verificada uma redução significativa na produção de biomassa em todos os casos, incluindo o controle negativo, ficando caracterizado como um provável consumo dos nutrientes do meio. Contudo, não foi verificada inibição de crescimento das 3 espécies quando comparadas aos controles negativos durante os bioensaios, sendo assim não foi verificado efeito tóxico. O tempo entre a 0-72h foi significativo em relação à produção de biomassa nos bioensaios. Esses resultados foram importantes visto que uma possível inibição de crescimento e redução de biomassa das microalgas, quando expostas a uma mistura dos compostos, poderia comprometer a eficiência de tratamento nos tanques quando em escala real.

Com o intuito de avaliar o potencial de produção de biomassa das 3 espécies de microalgas nas primeiras 72 h (tempo de retenção hidráulica -TRH estimado para o tratamento dos efluentes pelas algas), foram comparados os controles negativos, sendo verificada uma maior produção pela *C. vulgaris* (89% de crescimento e produção de 195 mg/L), seguida pela *D. subspicatus* (82% de crescimento e produção de 187 mg/L) e *R. subcapitata* (78% de crescimento e produção de 105 mg/L).

A capacidade de bioacumulação ou bioadsorção de um composto alvo por uma espécie de alga resulta na necessidade de um TRH maior ou menor para que o processo de remoção/biotransformação ocorra. O TRH afeta o volume de efluente tratado por dia, ou o dimensionamento dos tanques, tornando o projeto mais ou menos viável. Para alguns poluentes, o TRH longo no tratamento com algas é uma das desvantagens da fitorremediação (ACIÉN et al., 2016; DE-BASHAN & BASHAN, 2010; NORVILL et al., 2016). Para que a bioacumulação e a biotransformação sejam rápidas, a densidade de algas (nº de algas/mL ou mg/L de peso seco) é relevante (BEN CHEKROUN et al., 2014).



**Figura 1: Produção de biomassa das 3 espécies de microalgas durante 336 h dos bioensaios nos controles negativos e na presença de uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos em baixa e alta concentração. Diferença significativa ( $p < 0,05$ ) verificada (\*) entre as concentrações e controles negativos.**

Ao analisar os dados com o teste estatístico *two-way Anova*, durante as 336h a espécie que apresentou maior produção de biomassa quando exposta a alta concentração da mistura dos compostos avaliados foi a *D. subspicatus*, apresentando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para as outras espécies avaliadas (Figura 2). No entanto, na mistura de baixa concentração e após 72h não foi verificada diferença estatística na produção de biomassa para as espécies *C. vulgaris* (192% de crescimento e produção de 391,4 mg/L) e *D. subspicatus* (163% de crescimento e produção de 358,3 mg/L) que apresentaram maior produção se comparadas a *R. subcapitata* (150 % de crescimento e produção de 190 mg/L) (Figura 2). As maiores taxas de produção de biomassa foram verificadas nas primeiras 48h do bioensaio, tanto para a alta concentração quanto para a baixa: *R. subcapitata* (154% e 138%); *D. subspicatus* (166% e 123%); e *C. vulgaris* (78% e 105%).

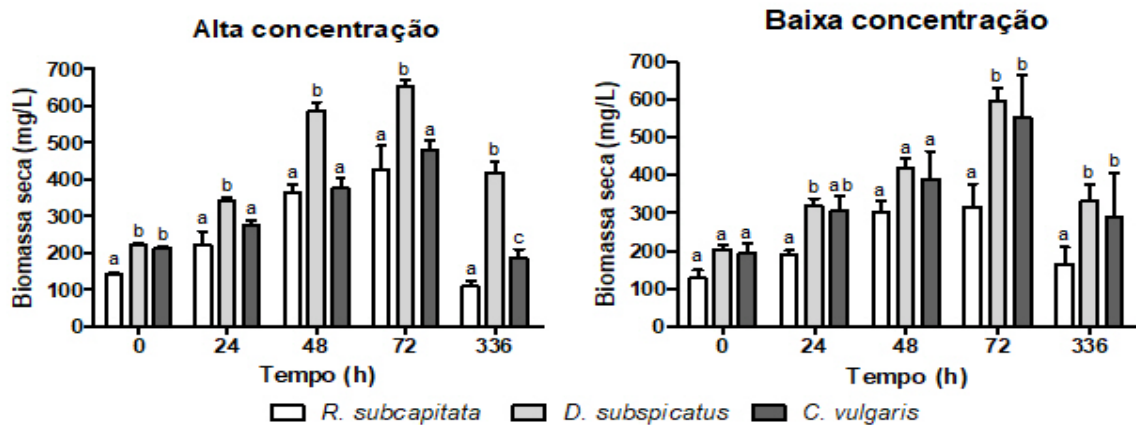


Figura 2: Comparação entre produção de biomassa das 3 espécies de microalgas durante 336 h na presença de compostos orgânicos e inorgânicos em alta e baixa concentração. Diferença significativa ( $p < 0,05$ ) verificada entre espécies em cada um dos tempos de monitoramento (diferentes letras).

#### Biodegradação dos compostos inorgânicos

**Redução da concentração de nitrato:** A eficiência de cada espécie de microalga na biodegradação e redução da concentração do nitrato foi avaliada com o teste estatístico *two-way Anova* (Figura 3). A microalga *D. subspicatus* apresentou um melhor resultado com uma redução significativa durante as primeiras 24h ( $p < 0,05$ ) quando exposta as misturas de alta (redução de 39% ou 7,4 mg/L em 24h) e baixa (redução de 40% ou 4,8 mg/L em 24h) concentração.

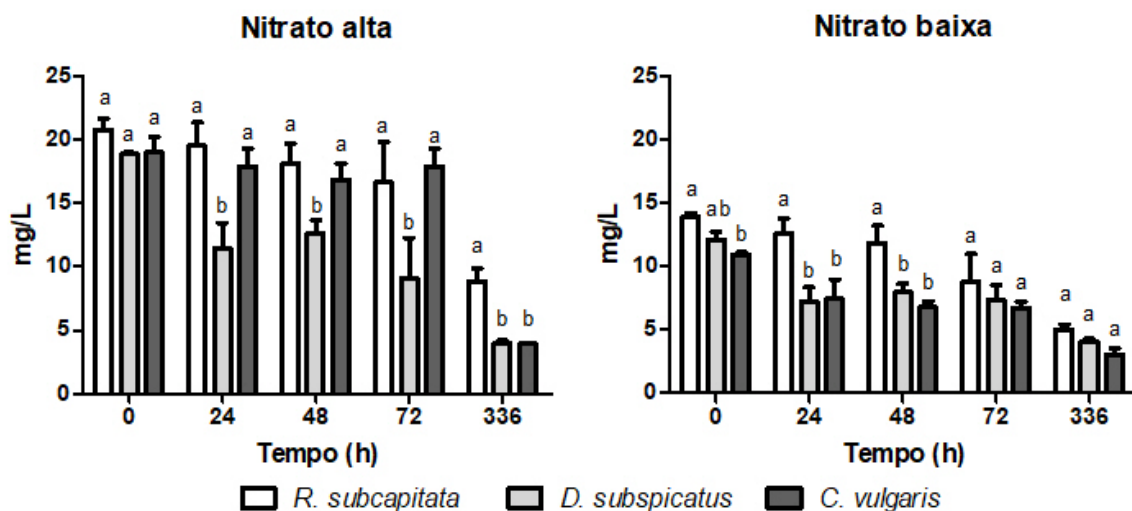


Figura 3: Avaliação da redução da concentração de Nitrato pela biodegradação por 3 espécies de microalgas durante 336 h na presença de compostos orgânicos e inorgânicos em alta e baixa concentração. Diferença significativa ( $p < 0,05$ ) verificada entre as espécies em cada um dos tempos de monitoramento, representada pelas diferentes letras.

A redução da concentração do nitrato na mistura de baixa concentração pelas microalgas nas primeiras 72h foi de: 5,2 mg/L (37%) por *R. subcapitata*; 4,8 mg/L (39%) por *D. subspicatus*; e 4,2 mg/L (39%) por *C. vulgaris*. Ao final das 336 h (14 dias) a redução foi de: 8,9 mg/L (64%) por *R. subcapitata*; 8,1 mg/L (67%) por *D. subspicatus*; e 7,8 mg/L (72%) por *C. vulgaris*. No entanto, a redução da concentração do nitrato na mistura de alta só foi significativa nas primeiras 72 h para a espécie *D. subspicatus* (52% ou 9,7 mg/L), sendo que as



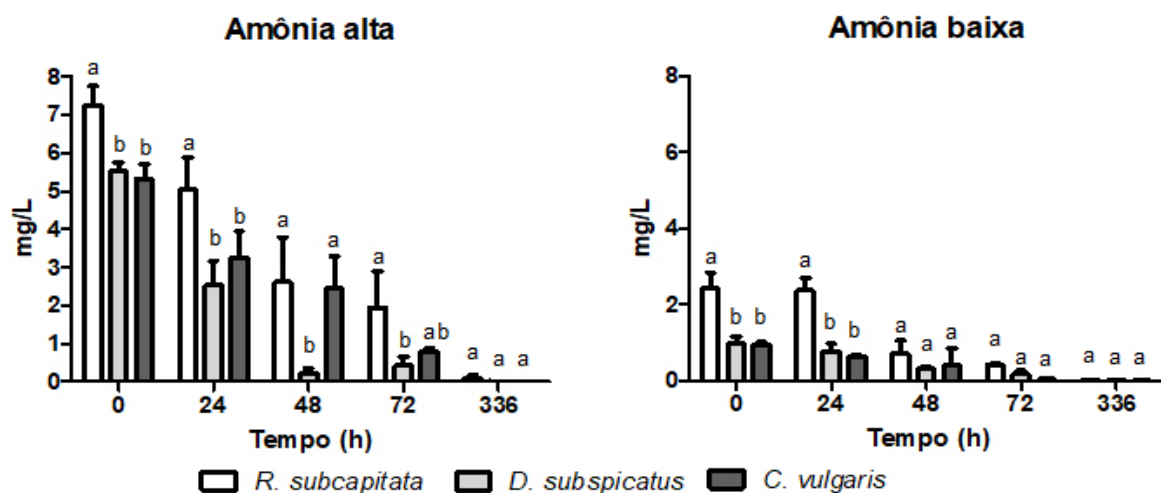
outras espécies apresentaram redução significativa após as 72 h. Ao final das 336 h (14 dias) essa redução foi de: 12 mg/L (57%) por *R. subcapitata*; 14,8 mg/L (79%) por *D. subspicatus*; e 15 mg/L (79%) por *C. vulgaris*.

O nitrato é descrito na literatura como a forma mais facilmente assimilada por plantas aquáticas e algas (LORION, 2001), sendo assim os tanques de algas vêm sendo empregado com maior frequência na última década como tratamento terciário em sistemas descentralizados (SALOMÃO et al., 2012). Em um estudo de escala real de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto doméstico, o tanque de alga (pool de espécies de microalgas) com TRH de 10,7 h foi capaz de reduzir a concentração de nitrato em 31%. Ainda neste estudo um balanço de massa no tanque de alga evidenciou a capacidade de incorporação de nitrogênio na biomassa seca das algas de 2,03 g/m<sup>2</sup>/dia (SALOMÃO et al., 2012).

**Redução da concentração da amônia:** A eficiência de cada espécie de microalga na biodegradação e redução da concentração da amônia foi avaliada com o teste estatístico *two-way Anova* (Figura 4). A redução da concentração da amônia na mistura de baixa concentração pelas microalgas nas primeiras 72h foi de: 1,99 mg/L (83%) por *R. subcapitata*; 0,8 mg/L (82%) por *D. subspicatus*; e 0,9 mg/L (94%) por *C. vulgaris*. Ao final das 336h (14 dias) essa redução foi de: 2,38 mg/L (99%) por *R. subcapitata*; 0,95 mg/L (98%) por *D. subspicatus*; e 0,95 mg/L (99%) por *C. vulgaris*.

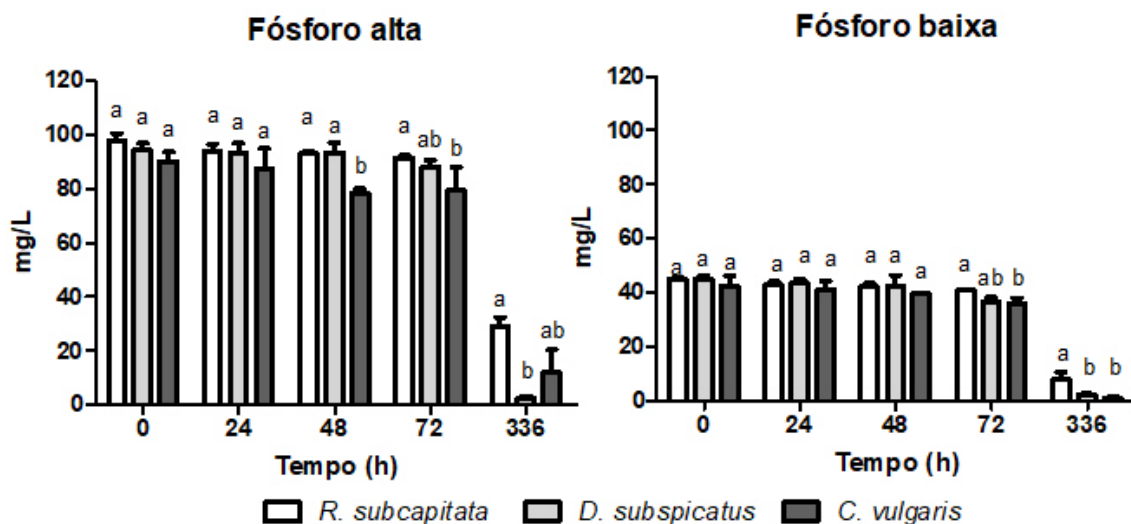
Já a redução da concentração da amônia na mistura de alta nas primeiras 72 h foi de: 5,3 mg/L (73%) por *R. subcapitata*; 5,1 mg/L (92%) por *D. subspicatus*; e 4,5 mg/L (85%) por *C. vulgaris*. Ao final das 336 h (14 dias) essa redução foi de: 7,2 mg/L (99%) por *R. subcapitata*; 5,5 mg/L (99%) por *D. subspicatus*; e 5,3 mg/L (99%) por *C. vulgaris*.

Resultados semelhantes foram alcançados por Shawky et al. (2015) com a microalga *Scenedesmus quadricauda* quanto ao potencial de remoção da amônia nas concentrações iniciais de 1 mg/L e 5 mg/L por 5 dias (120 h). Na concentração de 1 mg/L a amônia foi completamente removida após 3 dias; porém, na concentração de 5 mg/L, 91,8% foram removidos somente após 5 dias. Em outro estudo com *C. vulgaris* (10<sup>6</sup> algas/mL) num período de 8 dias a amônia foi totalmente removida nos ensaios com 15,2 a 25,2 mg/L de concentração inicial (CHOI & LEE, 2013).



**Figura 4:** Redução da concentração de amônia por biodegradação por 3 espécies de microalgas durante 336 h na presença de compostos orgânicos e inorgânicos em alta e baixa concentração. Diferença significativa ( $p < 0,05$ ) verificada entre espécies em cada um dos tempos de monitoramento, representada pelas diferentes letras.

**Redução da concentração de fósforo:** A eficiência de cada espécie de microalga na biodegradação e redução da concentração do fósforo foi avaliada com o teste estatístico *two-way Anova* (Figura 5).



**Figura 5:** Avaliação da redução da concentração de Fósforo presente no meio pela biodegradação das 3 espécies de microalgas durante as 336 h na presença de uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos em alta e baixa concentração. Diferença significativa ( $p < 0,05$ ) verificada entre as espécies em cada um dos tempos de monitoramento, representada pelas diferentes letras.

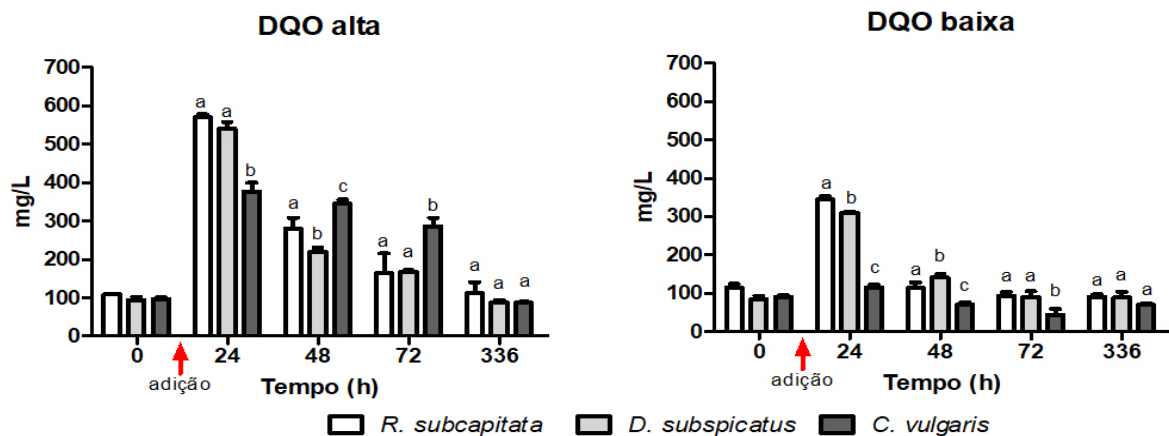
A redução da concentração do fósforo na mistura de baixa concentração pelas microalgas nas primeiras 72h foi de: 4,3 mg/L (10%) pela *R. subcapitata*; 8,1 mg/L (18%) pela *D. subspicatus*; e 6,2 mg/L (15%) pela *C. vulgaris*. Ao final das 336h (14 dias) essa redução foi de: 37,3 mg/L (83%) pela *R. subcapitata*; 42,7 mg/L (95%) pela *D. subspicatus*; e 41,4 mg/L (98%) pela *C. vulgaris*.

Já na mistura de alta nas primeiras 72h essa redução foi de: 6,3 mg/L (6%) pela *R. subcapitata*; 6,2 mg/L (7%) pela *D. subspicatus*; e 11,0 mg/L (12%) pela *C. vulgaris*. Ao final das 336h (14 dias) essa redução foi de: 68,6 mg/L (70%) pela *R. subcapitata*; 91,7 mg/L (97%) pela *D. subspicatus*; e 78,0 mg/L (87%) pela *C. vulgaris*.

Em um estudo de tratamento descentralizado de esgoto doméstico, o tanque de algas do Ecossistema Engenheirado foi capaz de reduzir a concentração de fósforo em 14%, ou seja 2,7 mg/L em 10,7h com um pool de espécies de alga (SALOMÃO et al. 2012). Ainda neste estudo foi realizado um balanço de massa no tanque de alga e foi verificada a capacidade de incorporação de fósforo na biomassa seca das algas de 0,27 g/m<sup>2</sup>/dia. Já em outro estudo em escala de bancada realizado por SHAWKY et al. (2015) com a microalga *Scenedesmus quadricauda* (10<sup>6</sup> algas/mL) em 4 dias (96 h) houve uma redução de 86% de uma solução de 1 mg/L e em 6 dias (144 h) foi reduzido 61% de uma solução de 5 mg/L de fósforo.

### Biodegradação dos compostos orgânicos

Devido a uma falha de execução no início do bioensaio a glucose só foi adicionada após 24 h do início do mesmo. Sendo assim, para o cálculo da eficiência de cada espécie de microalga o valor das 24 h foi considerado como valor inicial (Figura 6).



**Figura 6:** Redução da demanda química de oxigênio (DQO) na forma de glucose presente no meio pela biodegradação das 3 espécies de microalgas durante 336 h na presença de compostos orgânicos e inorgânicos em alta e baixa concentração. Diferença significativa verificada entre as espécies em cada um dos tempos de monitoramento, representada pelas diferentes letras.

Com isso, a eficiência na biodegradação e redução da concentração da glucose, medido como DQO, na mistura de baixa concentração pelas microalgas nas primeiras 72h foi de: 252 mg/L (73%) por *R. subcapitata*; 218 mg/L (71%) por *D. subspicatus*; e 72 mg/L (62%) por *C. vulgaris*. Ao final das 336 h (14 dias) essa redução foi de: 255 mg/L (74%) por *R. subcapitata*; 220 mg/L (71%) por *D. subspicatus*; e 46 mg/L (40%) por *C. vulgaris*. A pequena diferença entre os resultados das 72 h e 336 h está provavelmente relacionada à redução da biomassa nesse período, o que pode ter ocasionado a mortalidade das algas e um acréscimo de matéria orgânica elevando o valor do DQO medido.

Já a redução da concentração da glucose (redução da DQO) na mistura de alta nas primeiras 72h foi de: 407 mg/L (71%) por *R. subcapitata*; 372 mg/L (69%) por *D. subspicatus*; e 47 mg/L (11%) por *C. vulgaris*. Ao final das 336 h (14 dias) essa redução foi de: 458 mg/L (80%) por *R. subcapitata*; 451 mg/L (84%) por *D. subspicatus*; e 290 mg/L (87%) por *C. vulgaris*.

De acordo com SALOMÃO et al. (2012), o tanque com mistura de algas de um Ecosistema Engenheirado foi capaz de reduzir a DQO em 21%, ou seja, 14,1 mg/L em 10,7 h. Um balanço de massa no tanque de alga evidenciou a capacidade de incorporação de carbono na biomassa seca das algas de 10,8 g/m<sup>2</sup>/dia.

Segundo a literatura, alguns compostos orgânicos como 17 $\alpha$ -ethinylestradiol, levofloxacin, e carbamazepina podem ser usados como fonte de carbono necessário para o crescimento de microalgas mixotróficas, como o caso da *C. vulgaris*, e com isso, podem não apresentar efeito de inibição do crescimento (MAES et al., 2014; XIONG et al., 2017).

A fitorremediação tem sido aplicada para o tratamento de diferentes tipos de efluentes sanitários (bruto, tratado, sintético, entre outros) e em diferentes composições e tipos de meios de cultivo de algas. Em alguns casos, a eficiência esteve associada à composição do meio de cultivo (DANESHVAR et al. 2018), quando a maior eficiência de remoção de nitrato (95% em 8 dias) foi alcançada em um bioensaio com menor concentração dos elementos traços no meio de cultivo e com *C. vulgaris*. A maior eficiência de remoção de amônia alcançada por RUIZ-MARIN et al. (2010) com *C. vulgaris* foi de 74% em 48 h para um efluente artificial e 60% em um efluente urbano. Já WANG et al. (2010) alcançou 57% de redução de DQO e remoção de 75% de amônia e 91% de fósforo em um efluente real após tratamento primário com a espécie *Chlorella sp.* em 9 dias de contato.

As bactérias desempenham um importante papel na ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes, e as microalgas autotróficas são grandes consumidoras de matéria orgânica e nutrientes (N, P), sendo ambas fundamentais nos ciclos biogeoquímicos. Nesse sentido, a presença das bactérias em tanques de algas pode maximizar a biodegradação e o consumo desses compostos, sendo úteis na eliminação dos mesmos em processos de tratamento terciário de efluentes sanitários (LI et al. 2018).

A utilização combinada de microalgas com bactérias em tanques de tratamento terciário, ou até secundário, de efluentes para a remoção da matéria orgânica e nutrientes pode ser uma alternativa eficiente de tratamento ao



explorar a versatilidade metabólica desses microrganismos, bem como a habilidade de sobreviver e crescer em ambientes com altas taxas de diversos contaminantes. Desta forma, a avaliação do potencial de remoção e biodegradação de compostos orgânicos e inorgânicos por diferentes espécies de microalga pode ser considerada como uma importante estratégia na busca por metodologias eficientes de tratamento biológico para a remoção/biodegradação dos compostos, presentes nos efluentes domésticos e municipais, potencialmente poluidores, com efeitos tóxicos ou até de compostos com potencial de desregulação do sistema hormonal humano de outros organismos. Esses resultados são úteis para o dimensionamento de novos tanques de algas a serem instalados em sistemas descentralizados em escala real para tratamento de esgoto domésticos.

## CONCLUSÕES

A fitorremediação tornou-se uma técnica promissora, devido às vantagens típicas dos tratamentos biológicos: baixo custo de manutenção, ausência de substâncias químicas nocivas e processos favoráveis ao meio ambiente. Além dessas vantagens, a fitorremediação também produz biomassa potencialmente útil para a produção de biocombustíveis.

No presente estudo, três espécies de microalga apresentaram crescimento significativo em água mineral com a adição dos compostos inorgânicos e orgânicos, se comparado com os respectivos controles somente em água mineral. Não foram verificados efeitos de toxicidade crônica de inibição de crescimento, mesmo nas maiores concentrações dos compostos avaliados. Sendo assim, as 3 espécies mostraram-se muito promissoras para a redução dos compostos inorgânicos e orgânicos, mesmo nas concentrações iniciais mais altas. A elevada densidade de algas ( $10^7$  algas/mL) pode ser apontada como fator determinante para este desempenho. No entanto, para os compostos inorgânicos foi verificada uma maior eficiência em tempos superiores a 72 h, principalmente para o fósforo que apresentou em média 11 % de redução da concentração inicial em 72 h e 88 % da concentração inicial em até 336 h.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERJ (Proc. E-26/201.298/2016) e do CNPq (Proc. 308335/2017-1); projeto CNPq (Proc. 436327/2018-0); Bolsa de IC PIBIC UERJ (Proc. 4163/2017); Bolsa de IC FAPERJ (Proc. E-26/202.096/2018); Bolsa PROATEC-UERJ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACIÉN, F. G. et al. *Wastewater treatment using microalgae: how realistic a contribution might it be to significant urban wastewater treatment?* Applied Microbiology and Biotechnology, 2016
2. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 22nd. Ed. ed. [s.l.] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, A. *Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (Chlorophyceae)* - NBR 12648, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
4. BEN CHEKROUN, K.; SÁNCHEZ, E.; BAGHOUR, M. *The role of algae in bioremediation of organic pollutants*. International Research Journal of Public and Environmental Health, v. 1, n. 2, p. 19–32, 2014.
5. DANESHVAR, E. et al. *Investigation on the feasibility of Chlorella vulgaris cultivation in a mixture of pulp and aquaculture effluents: Treatment of wastewater and lipid extraction*. Bioresource Technology, v. 255, n. January, p. 104–110, 2018a.
6. DANESHVAR, E. et al. *Microalgal growth and nitrate removal efficiency in different cultivation conditions: Effect of macro and micronutrients and salinity*. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 6, n. February, p. 1848–1854, 2018b.
7. DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. *Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects*. Bioresource Technology, 2010.
8. HANUMANTHA RAO, P. et al. *Application of phycoremediation technology in the treatment of wastewater from a leather-processing chemical manufacturing facility*. Water SA, v. 37, n. 1, p. 7–14, 2011.
9. JI, X. et al. *The interactions of algae-bacteria symbiotic system and its effects on nutrients removal from synthetic wastewater*. Bioresource Technology, v. 247, n. September 2017, p. 44–50, 2018.

10. LIU, W. et al. *Removal and biodegradation of 17 $\beta$ -estradiol and diethylstilbestrol by the freshwater microalgae Raphidocelis subcapitata*. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 15, n. 3, p. 1–14, 2018.
11. LORION, R. *Constructed Wetlands: Passive Systems for Wastewater Treatment*. 2001. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em 10 de abril de 2019.
12. MAES, H. M. et al. *Uptake, elimination, and biotransformation of 17 $\alpha$ -ethinylestradiol by the freshwater alga Desmodesmus subspicatus*. Environmental Science and Technology, v. 48, n. 20, p. 12354–12361, 2014.
13. METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. McGraw Hill Brasil, 2016.
14. NORVILL, Z. N.; SHILTON, A.; GUIEYSSE, B. *Emerging contaminant degradation and removal in algal wastewater treatment ponds: Identifying the research gaps* Journal of Hazardous Materials, 2016.
15. RUIZ-MARIN, A.; MENDOZA-ESPINOSA, L. G.; STEPHENSON, T. *Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater*. Bioresource Technology, v. 101, n. 1, p. 58–64, 2010.
16. SALOMÃO, A. L. DE S. et al. *Effects of single and mixed estrogens on single and combined cultures of D. subspicatus and P. subcapitata*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 93, n. 2, p. 215–221, 2014.
17. SALOMÃO, A. L. DE S. et al. *Engineered ecosystem for on-site wastewater treatment in tropical areas*. Water Science Technology, v. 66, n. 10, p. 2131–2137, jan. 2012.
18. SHAWKY, H. A. et al. *Removal of Ammonia and Phosphate from Water Resources using Free and Immobilized Microalgae*. International Journal of Environment, v. 04, n. September, p. 193–203, 2015.
19. SHEN, Y.; GAO, J.; LI, L. *Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgal-bacterial symbiosis: Microorganism growth and nutrients removal*. Bioresource Technology, v. 243, p. 905–913, 2017.
20. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). *Diagnóstico anual de águas e esgotos*. 2017.
21. VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. 2006.
22. WANG, L. et al. *Cultivation of green algae Chlorella sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant*. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 162, n. 4, p. 1174–1186, 2010.
23. XIONG, Jiu-Qiang et al. *Ciprofloxacin toxicity and its co-metabolic removal by a freshwater microalga Chlamydomonas mexicana*. Journal of hazardous materials, v. 323, p. 212–219, 2017.