



Encontro Técnico **AESABESP**

31º Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente

22- SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA /TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ULTRAFILTAÇÃO POR MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO NA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

Mara Yoshino de Castro
Sabesp

INTRODUÇÃO

- Falta de água no planeta nos aspectos qualidade e quantidade;
- Membranas sintéticas como alternativas para o tratamento de água;
- Introdução das membranas ultrafiltrantes na ETA ERJCS devido à crise hídrica ocorrida entre 2014 e 2016 na RMSP;
- Aumento de 2 m³/s, maior qualidade, menor tempo na execução do projeto, economia de espaço;
- Guarapiranga foi o maior Sistema produtor da RMSP, 2015;

OBJETIVO

Avaliar o sistema de ultrafiltração por membranas para tratamento de água quanto ao consumo e custo energético e a qualidade da água em relação ao sistema de ciclo completo, a partir do estudo de caso na ETA ERJCS.



Foto 1-Tubulações do sistema de membranas
Fonte: o autor, 2018

MEMBRANAS

- ❑ Barreiras porosas (micro e ultrafiltrarão) que controlam o fluxo de partículas químicas em contato com elas e são capazes de reter partículas menores que seus poros;
- ❑ **Final da 2ª Guerra Mundial** → primeira grande aplicação comercial das membranas para o tratamento de água → membranas eram pouco confiáveis, pouco seletivas, muito lentas e muito caras houve dificuldades para a expansão desta tecnologia;
- ❑ **No final da década de 80** → membranas de baixa pressão e membranas submersas de ar comprimido → resolução parcial dos problemas, possibilitando a popularização cada vez mais crescente da tecnologia;
- ❑ Desenvolvimento de diversos tipos de membranas → materiais , tamanho dos poros e finalidade;



MEMBRANAS

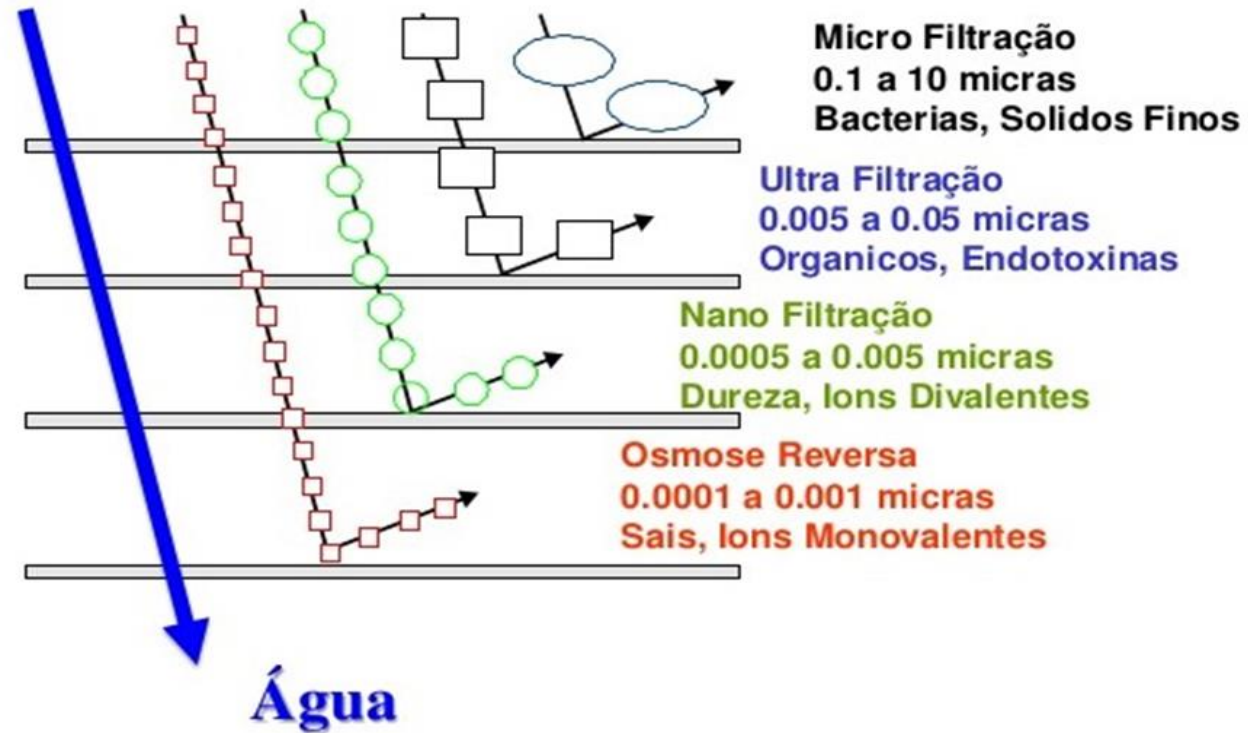


Figura 3- Seletividade na variação do tamanho dos poros

Fonte: <http://www.globalfilter.com.br.>, 2018.

MEMBRANAS

- ❑ **Microfiltração** → Filtração de partículas de até $0,1 \mu\text{m}$. A pressão é o principal fator determinante para a capacidade de filtração;
- ❑ **Ultrafiltração** → Poros até 10 vezes menores ($0,01 \mu\text{m}$) do que as de microfiltração → Indicadores da capacidade de filtração → Peso molecular, forma das moléculas, pH e entupimento/incrustação;
- ❑ **Nanofiltração** → Poros de aproximadamente 1 nm → menor consumo energético e maior fluxo do que as membranas de Osmose Reversa → Intermediárias entre membranas de ultrafiltração e osmose reversa → Seleção através do tamanho das moléculas para orgânicos e por cargas para inorgânicos;
- ❑ **Osmose Reversa** → Retenção de partículas menores do que 1 nm → menores poros entre as membranas e a rejeição pode chegar a 100% para alguns compostos → Seleção pela passagem do meio mais concentrado para o menos concentrado;

TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE MEMBRANAS

- ❑ Remoção total de todos os sólidos suspensos incluindo turbidez e microrganismos (protozoários, bactérias e vírus) sem ter que adicionar produtos;
- ❑ Diâmetro médio das partículas e tamanho dos poros → Escolhas de diferentes tecnologias de membranas;
- ❑ Destacam-se duas características no tratamento de água em relação ao tipo de polímero utilizado nas membranas → **potencial para a formação de depósitos e resistência aos agentes oxidantes**;
- ❑ O **entupimento da membrana** → principal **fator limitante** do processo de ultrafiltração (**UF**);
- ❑ MON → entupimento irreversível, as condições de operação irão influenciar o grau de irreversibilidade do entupimento;

- ❑ A coagulação, adsorção e oxidação → associação com a micro ou ultrafiltração a fim de melhorar a performance do processo;
- ❑ O processo CRISTAL → UF com adsorção sobre carvão ativado, eliminação de altas proporções de matéria orgânica → vantagens sobre a nanofiltração: pode eliminar totalmente os pesticidas, e não retém sais. Pode ser aplicado diretamente no tratamento de águas superficiais;

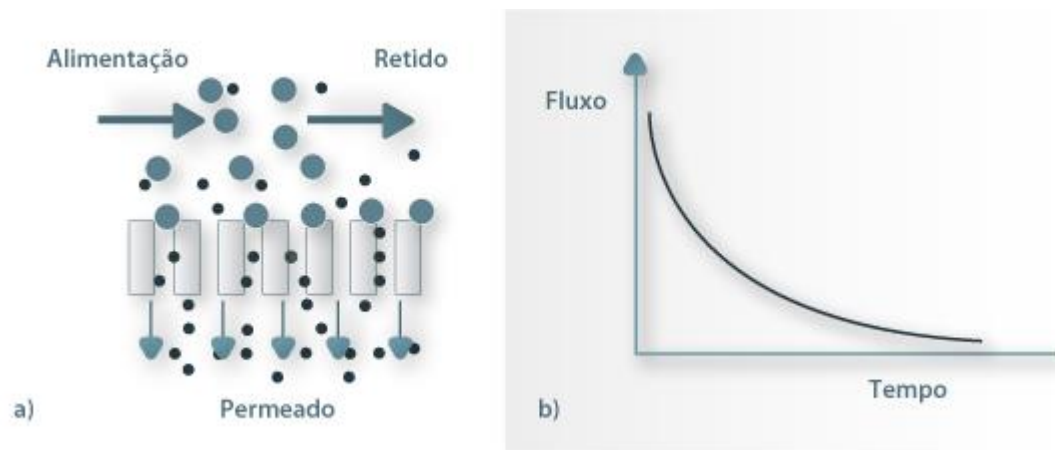


Figura 4- a) Processo de filtração por membrana e b) relação fluxo/tempo

Fonte: <http://www.labvirtual.eq.uc.pt>, 2018.

REPRESA GUARAPIRANGA E SUAS CARACTERÍSTICAS GERAIS

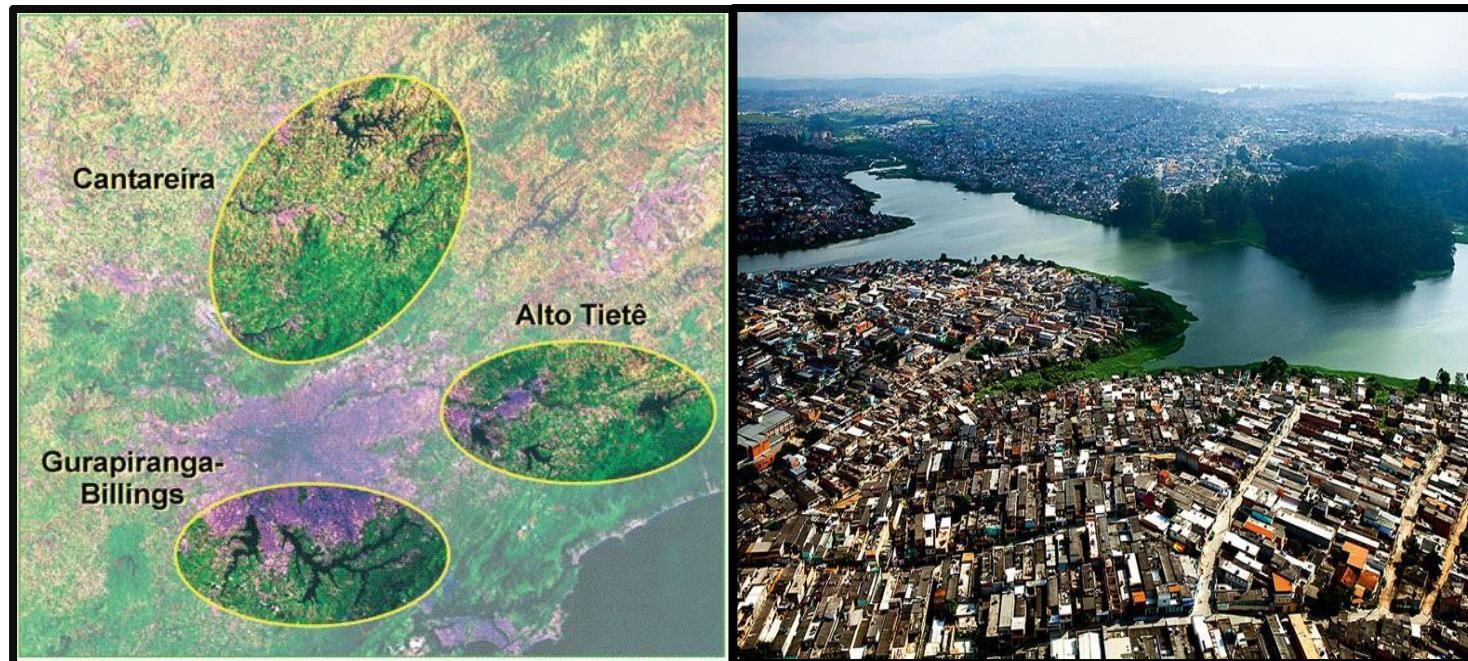


Figura 5-Os três grandes sistemas produtores de água da RMSP e a represa Guarapiranga, respectivamente, cujo entorno apresenta grande urbanização.

Fonte: <https://vejasp.abril.com.br/cidades/represa-Guarapiranga-problemas-ambientais/> 2017

ETAPAS DO ESTUDO

- ❑ Realização em quatro etapas, por dois meses.
- ❑ **Primeira etapa** → Pesquisa através de dados secundários das características da ETA ERJCS e do sistema de membranas da mesma;
- ❑ **Segunda etapa** → foram executadas as etapas de operação do sistema de membranas, através de comando executado por programa específico, *KOCH membrane systems*;
- ❑ **Terceira etapa** → coleta de informações referentes ao consumo e gasto de energia de ambos sistemas ;
- ❑ **Quarta etapa** → Execução e avaliação dos resultados de análises laboratoriais para a verificação/comparação da qualidade da água;

DESENVOLVIMENTO

CARACTERIZAÇÃO DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA



CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEMBRANAS DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA



Foto 2-Partes do sistema de membranas
Fonte: O autor,2018

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEMBRANAS DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA



Figura 7- Representação de um módulo de membranas
Fonte: Manual de operação e manutenção-Módulo PURON HF, 2015.

FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE MEMBRANAS

Processos do sistema:

- Água entra no sistema passando pelas bombas de recalque ,pré-filtros de 300 μ m e 1 mm e distribuída para cada *Skid*
- Aeração;
- Retrolavagem;
- Água permeada vai para o canal de água filtrada do sistema convencional e se mistura com água final deste.
- Limpeza com hipoclorito de sódio (a partir de solução 12 %) e ácido cítrico (a partir de solução 50%)-Limpeza de manutenção e Limpeza de recuperação;

*A frequência das limpezas estão associadas com o tipo de água ,grau de sujidade/incrustação,variáveis operacionais;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

OBTENÇÃO DOS DADOS QUANTO AO CONSUMO E CUSTO ENERGÉTICOS

- ❑ Pesquisas através de entrevistas ;
- ❑ Medições de energia → aparelhos digitais medidores de grandezas elétricas de forma direta, medidores multiparâmetros → pontos específicos de medição → entrada de energia nas subestações para cada sistema de tratamento;

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PERMEADA

- ❑ Ensaios no laboratório de operação da ETA ERJCS (alumínio, cloro residual livre, cor, ferro, flúor, manganês, pH, turbidez) → qualidade para execução dos ensaios (*Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*) e Portaria de Consolidação no 5, anexo XX → Obtenção da média mensal de cada parâmetro obtida no ano de 2017 ;

Quanto à demanda de energia e aos custos energéticos

Tabela 1-Comparação do consumo e gasto de energia entre os sistemas de Membranas de Ultrafiltração e de Ciclo Completo no ano de 2017.

Dados	ETA Membranas	ETA Ciclo Completo
Consumo Kwh/ m ³	0,090	0,017
*Custo R\$/ 1000 m ³	24,300	4,590

*Valor médio de R\$ 0,27 do kwh para região sudeste do Brasil, para serviço de saneamento, ano de 2017.

Fonte: O autor,2018.

Quanto ao gasto com produtos Químicos

- Tabela 2-Comparação de gastos com produtos químicos entre os sistemas de Membranas de Ultrafiltração e de Ciclo Completo no ano de 2017.

Dados	ETA Membranas	ETA Ciclo Completo
Produtos químicos	R\$0,020/m ³	R\$0,057/m ³

Fonte: Camelo,A.C.R.;Coutinho,M.,2016

Tabela 3-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Membranas por Ultrafiltração da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.

	Cor (UC)	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PRC 5 /2017*** VMP	15 uH**	Entre 6,000 e 9,500	5,000 uT	5,000	1,500
Janeiro	2,900	6,320	0,100	0,980	0,080
Fevereiro	3,100	6,320	0,090	0,720	0,100
Março	2,500	6,560	0,090	1,200	0,008
Abril	3,000	6,500	0,090	1,120	0,008
Maio	2,600	6,290	0,120	1,150	0,007
Junho	2,500	6,330	0,080	0,820	0,009
Julho	2,000	6,410	0,080	0,950	0,008
Agosto	2,300	6,390	0,110	1,200	0,006
Setembro	2,900	6,190	0,100	0,850	0,007
Outubro	2,100	6,270	0,090	0,770	0,009
Novembro	2,200	6,420	0,090	1,200	0,007
Dezembro	2,500	6,790	0,100	0,850	0,009
Média	2,550	6,339	0,095	0,984	0,021

	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)		
PRC 5 /2017 *** VMP	0,200	0,300	0,100		
Janeiro	0,020	0,005	0,012		
Fevereiro	0,010	0,019	0,015		
Março	0,025	0,008	0,025		
Abril	0,023	0,017	0,008		
Maiο	0,029	0,001	0,014		
Junho	0,023	0,005	0,006		
Julho	0,010	0,005	0,005		
Agosto	0,024	0,003	0,028		
Setembro	0,018	0,004	0,012		
Outubro	0,026	0,006	0,010		
Novembro	0,014	0,005	0,008		
Dezembro	0,013	0,006	0,006		
Média	0,020	0,007	0,012		

*1NTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

*** VMP-Valor máximo permissível para água final da Portaria de Consolidação no 5, anexo XX. Fonte: O autor,2018

Tabela 4-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Ciclo Completo da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.

	Cor (UC)	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PRC 5 /2017*** VMP	15 uH**	Entre 6,0 e 9,5	5,000 UC	5,000	1,500
Janeiro	3,200	6,089	0,320	1,750	0,109
Fevereiro	3,500	6,112	0,260	1,365	0,098
Março	2,900	5,962	0,310	1,552	0,122
Abril	3,200	5,996	0,390	1,856	0,129
Mai	3,100	6,002	0,410	1,645	0,102
Junho	2,800	6,125	0,260	1,335	0,089
Julho	3,300	6,254	0,270	1,023	0,139
Agosto	3,400	5,986	0,290	1,556	0,144
Setembro	2,900	5,965	0,330	1,340	0,109
Outubro	3,000	6,105	0,280	1,268	0,124
Novembro	3,100	5,992	0,350	1,026	0,119
Dezembro	3,300	6,002	0,350	1,754	0,123
Média	3,142	6,049	0,318	1,456	0,117

PRC 5 /2017*** VMP	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)		
	0,200	0,300	0,100		
Janeiro	0,063	0,010	0,018		
Fevereiro	0,055	0,010	0,022		
Março	0,066	0,018	0,015		
Abril	0,075	0,023	0,017		
Maio	0,069	0,020	0,024		
Junho	0,082	0,025	0,033		
Julho	0,063	0,009	0,014		
Agosto	0,070	0,018	0,023		
Setembro	0,056	0,009	0,018		
Outubro	0,059	0,008	0,012		
Novembro	0,062	0,010	0,025		
Dezembro	0,059	0,011	0,015		
Média	0,065	0,014	0,020		

*1NTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

*** VMP-Valor máximo permissível para água final da Portaria de Consolidação no 5, anexo XX.

Fonte: O autor,2018.

- ❑ Os valores dos dois tipos de sistemas estiveram bem abaixo do limite máximo permissível pela Portaria PRC5/2017, anexo XX, para a água final → ao comparar o sistema de membranas em relação ao de ciclo completo, **houve remoção, a mais, de 18,79% de cor, 31,80% de turbidez, 32,42% de cloro livre, 82,05% de flúor, 69,23% de alumínio, 64,28% de ferro, e 40,00% de manganês.** → **Metilisoborneol e Geosmina**, não puderam ser executados devido a restrições internas naquele período. Somente foram obtidos os valores para a água final. Foram encontradas as médias anuais de 45,0 ng/L para o MIB e valores abaixo de 4,0 ng/L para a GEO apenas para tratamento no sistema de ciclo completo associado à aplicação de carvão ativado → Para águas superficiais de um **manancial com alta carga orgânica**, os processos de microfiltração e ultrafiltração por membranas tiveram a remoção de **5% a 40%** para estes compostos (Reiss et al ,2006).

- ❑ O consumo e o custo de energia para o sistema de membranas são cerca de cinco vezes a mais do que os de ciclo completo;
- ❑ O custo inicial → mais elevado pois está relacionado ao investimento, principalmente, na aquisição dos materiais → o custo de aquisição de membranas pode ser de quase 50% do investimento inicial total. O custo torna-se competitivo em relação ao sistema de ciclo completo com carvão ativado em termos de qualidade → o custo inicial do sistema de membranas ultrafiltrantes é 25% maior do que o sistema de ciclo completo (SABESP,2016);
- ❑ Quanto à qualidade da água → técnica promissora por remover pesticidas e outros micropoluentes orgânicos da água.
- ❑ Triclosan (rejeição de 87,5%), cafeína (rejeição de 7%), ibuprofeno (rejeição de 8,3%) e carbamapexina (rejeição de 15, 7%) .Snyder et al (2007) → A remoção de Giárdia e Cryptosporidium é de 99,9 % → ausência de coliformes fecais/ 100 ml → eliminação acima de 95,0% para partículas de tamanho até 20,0 μm (CENTROPROJEKT,2016) → remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias na faixa de 0,03 μm ;

- ❑ **Pré - tratamento** → Avaliar as características da água para que as membranas possam operar com os parâmetros requeridos pelo fabricante (**coagulação, adsorção em carvão ativado e resinas de troca iônica**) → eliminar substâncias causadoras de deterioração .ETA RJCS → água decantada;
- ❑ **Deterioração das membranas** → MON, biopolímeros, macromoléculas como polissacarídeos e proteínas → sólidos suspensos e turbidez;
- ❑ **Área do sistema de ciclo completo é cerca de seis vezes mais do que o sistema de membranas para atender a uma mesma vazão.** Para este cálculo foi levado em consideração a área do sistema de ciclo completo que envolveram os flocculadores, decantadores e filtros cuja relação área/volume foi de 2.239,9 m²/m³. Para o sistema de membranas foi levado em consideração a área dos *Skids* cuja relação área/volume foi de 400,0 m²/m³.
- ❑ **Logo, $2.239,9 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3} / 400,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3} = 5,6$**

CONCLUSÕES

- ❑ Quanto aos custos de implantação do sistema de membranas, os mais expressivos foram os custos de aquisição das membranas, cerca de 50% do custo inicial. Os custos de operação e manutenção necessitam de maiores reservas de capital devido ao aumento da demanda de energia e da reposição dos componentes do sistema, como bombas e válvulas, que tem custos elevados
- ❑ Custos com produtos químicos ,aproximadamente, três vezes menor para o sistema de membranas por metro cúbico de água tratada (CAMELO, A.C.R.; COUTINHO, M.,2016).
- ❑ **Inconvenientes** → aumento da demanda de energia, necessidade de pré-tratamento da água bruta, reposição de peças podem ser mais demoradas e caras por serem de origem estrangeira e representarem uma tecnologia relativamente mais nova.
- ❑ **Benefícios** → não geração de lodo → não há necessidade de produtos químicos no tratamento → sistema compacto e automatizado, a área requerida é menor do que para uma estação de tratamento ciclo completo → menor tempo de tratamento → água tratada de melhor qualidade → remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias até 0,03 μm .

Contato

- Mara Yoshino de Castro
- marayc@hotmail.com
- Celular-(11) 982996237
- **Acesso ao conteúdo completo no livro “Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 2”, Capítulo 9, Atena editora, 2020.**

Agradecimento especial a Nivanilson Borges

- nivaborges@yahoo.com.br

