

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA À DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUAS CINZA PARA REÚSO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR¹

FERNANDA LIMA CAVALCANTE²; JOEL MEDEIROS BEZERRA³; RAFAEL OLIVEIRA BATISTA⁴; KETSON BRUNO DA SILVA⁴ E HÉRICK CLAUDINO MENDES⁴

¹ Trabalho oriundo da Tese de Doutorado da primeira autora.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, IFRN campi Mossoró, Rua Raimundo Firmino de Oliveira, n° 400, Conjunto Ulrick Graff, 59628-330, Mossoró, RN, Brasil. E-mail: fernanda.lima@ifrn.edu.br

³ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Ufersa campi Pau dos Ferros, Departamento de Engenharias e Tecnologia, Rodovia BR-226, s/n, 59900-00, Pau dos Ferros, RN, Brasil. E-mail: joel.medeiros@ufersa.edu.br

⁴ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Ufersa câmpus Mossoró, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, Rua Francisco Mota, n° 572, 59625-900, Presidente Costa e Silva, Mossoró, RN, Brasil. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br, ketsonbruno@hotmail.com, herickclaudino@ufersa.edu.br

1 RESUMO

A elevada incidência de doenças de veiculação hídrica é atribuída à inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário nas áreas rurais do semiárido brasileiro. O uso da radiação solar é uma alternativa na desinfecção de águas residuárias para uso na agricultura. O presente trabalho tem a finalidade de identificar as variáveis determinantes no processo de desinfecção solar em águas cinza no semiárido potiguar. A estação de tratamento de águas cinza é composta por tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. Os ensaios experimentais foram realizados no período de julho a dezembro de 2015, com frequência mensal e empregou-se às técnicas de estatística descritiva e multivariada. No reator solar foram mantidas lâminas de águas cinza de 0,1 m, que ficaram expostas à radiação solar durante período entre 8:00 às 16:00 h, e coletadas alíquotas a cada duas horas. As amostras coletadas foram submetidas às análises de pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais, turbidez, coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos. Paralelamente, foram monitoradas, também, a temperatura do ar e radiação solar global. Durante o período experimental não foi detectada a presença de ovos de helmintos na água cinza estudada. Pelo emprego da Análise de Componentes Principais, foi identificado um modelo de melhor ajuste composto por três componentes, explicando 79,46% da variância total. Sendo a primeira componente microbiológica, a segunda climática e a terceira componente, relacionada aos sais.

Palavras-chave: análise multivariada, reator solar, resíduo líquido.

CAVALCANTE, F. L.; BEZERRA, J. M.; BATISTA, R. O.; SILVA, K. B.; MENDES, H. C.

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS APPLIED TO SOLAR DISINFECTION OF GRAY WATER FOR REUSE IN RIO GRANDE DO NORTE SEMIARID REGION

2 ABSTRACT

The high incidence of waterborne diseases is attributed to the inadequacy of sanitary sewage systems in Brazilian rural areas. The use of solar radiation is an alternative in the disinfection of wastewater for agricultural use. This study aimed to identify, through the Principal Component Analysis, the determinant variables in the solar disinfection process in gray water in the semi-arid-RN. The gray water treatment plant consists of septic tank, anaerobic filter and solar reactor. The experimental tests were performed from July to December 2015, with monthly frequency. In the solar reactor, 0.1 m layers of gray water were exposed to solar radiation during the period from 8:00 AM to 4:00 PM, and aliquots were taken every two hours. The samples were subjected to analysis of pH, dissolved oxygen, temperature, conductivity, total suspended solids, turbidity, total coliforms, *E.coli* and helminth eggs. At the same time, the following environmental variables were monitored: air temperature and global solar radiation. Data were subjected to multivariate analysis for all analyzed characteristics. During the experimental period the presence of helminth eggs in the gray water studied was not detected. Using the Principal Component Analysis, a better fit model was identified, composed of three components, explaining 79.46% of the total variance, the first component was microbiological, the second climatic and the third component was related to the salts.

Keywords: multivariate analysis, liquid residue, solar reactor.

3 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do Brasil refere-se à melhoria do saneamento básico fornecido a sua população. Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Em relação às zonas rurais, esse déficit é atribuído, entre outros aspectos, a dificuldade de acesso ao conhecimento e aos profissionais especializados, necessários à implantação de tecnologias e soluções em tratamento de águas residuárias domésticas e oriundas de criação de animais, garantindo a qualidade de vida às famílias.

É bastante comum em habitações no meio rural, a segregação dos efluentes domésticos, sendo as fezes e a urina encaminhadas, normalmente, a uma fossa negra e o restante (águas cinza) disposto, diretamente, no solo, ou até mesmo utilizado para irrigação de culturas, levando a discussão a respeito de

tecnologias de tratamento e uso desses efluentes.

Segundo Chanakya e Khuntia (2014), a água cinza é um componente das águas residuárias domésticas sem a presença de fezes humanas, representando cerca de 2/3 do volume total das águas residuárias domésticas geradas.

Quando devidamente tratadas, as águas cinza apresentam grande potencial de reutilização, o qual pode ser atribuído ao seu baixo teor de poluentes, quando comparado às demais águas residuárias domésticas (MAY, 2008).

A utilização de energia solar como proposta de desinfecção de águas cinza na região semiárida torna-se promissora uma vez que se encontra entre as latitudes 15° norte e 35° sul e recebe alto índice de radiação ultravioleta por ano, além das mais de três mil horas anuais de sol, ao mesmo tempo em que o efeito sinérgico (ação conjunta das radiações ultravioleta e infravermelha) dessas duas faixas de radiação eleva a eficiência do método

(SODIS, 2002). Sendo perfeitamente aplicável para reduzir o nível populacional de agentes patogênicos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2006) para irrigação de cultivos agrícolas sem restrições ($< 1000 E.coli$ por 100 mL de efluente tratado e < 1 ovo de verme por litro de efluente tratado).

Abordagens multivariadas, como a Análise de Componentes Principais (ACP), tem sido amplamente utilizada, com o propósito de confrontar diversas variáveis simultaneamente de cada elemento amostral, permitindo simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno estudado, possibilitando o estudo acurado de fenômenos cada vez mais complexos (BAKKE; LEITE; SILVA, 2008).

Diante deste contexto e, tendo em vista que o semiárido é uma região com grande incidência de radiação solar, sendo esta energia limpa e gratuita, o presente estudo objetivou identificar as variáveis

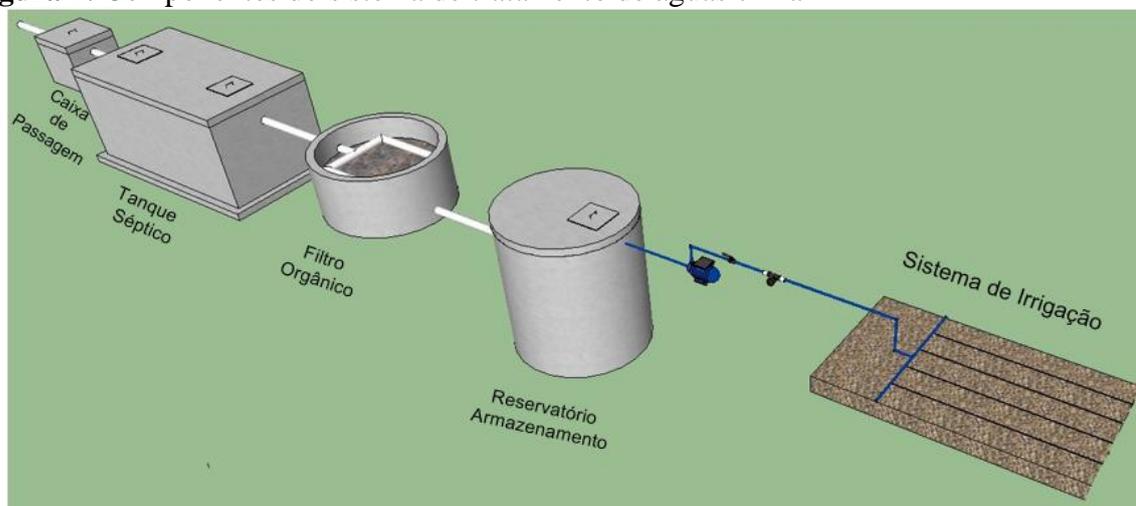
determinantes no processo de desinfecção solar em águas cinza do semiárido potiguar empregando-se a análise de componentes principais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de tratamento de águas cinza está localizado no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, sob coordenadas de $5^{\circ} 30' S$ e $37^{\circ} 27' O$, no município de Upanema-RN, microrregião Médio Oeste Potiguar. A residência experimental é habitada por cinco pessoas e gera em média $0,55 m^3 d^{-1}$ de água cinza.

O sistema de tratamento e aproveitamento de águas cinza é composto por caixa de passagem, tanque séptico (fossa séptica), filtro orgânico e reservatório, conforme esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1. Componentes do sistema de tratamento de águas cinza



O sistema de desinfecção solar é composto por um reator solar construído à base de concreto ao nível do solo e fica localizado na área experimental do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS) na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-

RN, sob as coordenadas geográficas $5^{\circ} 21' S$ $37^{\circ} 31' O$ e altitude 39 m.

O reator solar tem formato de tronco cônico invertido e dimensões idênticas, isto é raio maior, raio menor e altura de, respectivamente, 1,00 m, 0,25 m e 0,30 m, confeccionado na cor preta,

conforme as recomendações de Queluz, Alves e Sánchez-Román (2014).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h (“clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão retardando-se para o outono”), com temperatura média anual de 27,6° C, precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm; e umidade relativa do ar média de 68,9 % (ALVARES et al., 2013).

No intuito de caracterizar melhor as condições climáticas do município de Mossoró, foram obtidos os registros das variáveis climáticas, através do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, para o período em estudo. A estação meteorológica fica localizada nas coordenadas geográficas de latitude 4° 54’ S e longitude 37° 22’ O e altitude 29 m acima do nível do mar. A Tabela 1 resume os dados climatológicos para Mossoró para o período em estudo.

Tabela 1. Resumo dos dados climáticos para o período em estudo, Mossoró-RN.

2015 Meses	TMéd	TMáx	TMín	Vv	UR	PA	RM	RA
	(°C)			(ms ⁻¹)	(%)	(mm)	(Wm ⁻²)	(Wm ⁻²)
Julho	26,89	27,46	26,36	3,49	68,67	17,80	540,43	4854,22
Agosto	26,90	27,52	26,34	4,11	63,01	0,00	633,63	5776,32
Setembro	27,06	27,62	26,56	4,92	65,07	3,20	685,91	6173,25
Outubro	27,28	27,86	26,78	4,84	64,07	0,40	696,29	6269,34
Novembro	27,65	28,22	27,16	4,60	66,17	0,00	704,54	6339,13
Dezembro	28,19	28,73	27,72	4,37	65,94	13,20	659,11	5920,28

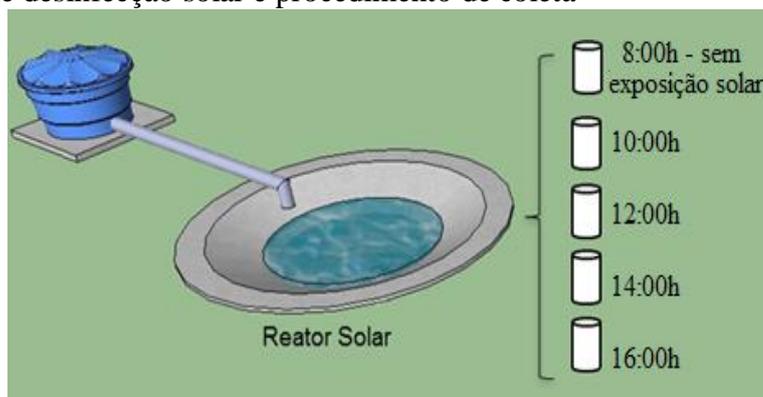
Fonte: Dados do INMET (2015).

Nota: TMed – Temperatura média do ar; TMáx – Temperatura máxima do ar; TMín – Temperatura mínima do ar; Vv – Velocidade média do vento; UR – Umidade relativa média do ar; PA – Precipitação pluviométrica acumulada; RM – Radiação solar global média; e RA - Radiação solar global acumulada.

Durante os meses de julho a dezembro de 2015, a água cinza tratada foi coletada mensalmente, preferencialmente no 15° dia de cada mês, e transportada até o local do experimento, sendo armazenada em reservatório de 0,25 m³, e transferida para o reator solar.

As águas cinza já dispostas no reator solar foram expostas à radiação solar, no horário das 8:00 às 16:00 horas, e

coletadas alíquotas a cada duas horas, totalizando 30 amostras simples ao longo do período experimental. O reator funcionou com lâmina de 0,10 m de água cinza (Figura 2). As coletas foram realizadas de acordo com as metodologias propostas no *Standart methods for examination of water and wastewater* (APHA, 2012).

Figura 2. Sistema de desinfecção solar e procedimento de coleta

Para cada bateria de ensaio, foram realizadas medições de pH, oxigênio dissolvido (mgL^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica (μScm^{-1}) em campo. O pH foi determinado através do método da potenciometria direta, utilizando um pHmetro acoplado a um eletrodo combinado de vidro, a condutividade elétrica por meio de um condutivímetro (μScm^{-1}), temperatura utilizando-se um termômetro ($^{\circ}\text{C}$) digital tipo espeto e o OD (mgL^{-1}) obtido por meio de um oxímetro digital.

As determinações de Sólidos Suspensos Totais (mgL^{-1}), turbidez (UNT), cor aparente (mgPt-CoL^{-1}), coliformes totais (NMP100mL^{-1}), *E.coli* (NMP100mL^{-1}) e ovos de helmintos (OvosL^{-1}), foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAN) na UFERSA.

As concentrações de SST foram determinadas pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro ($1\ \mu\text{m}$ de diâmetro de poro), expresso em mgL^{-1} , a turbidez por meio de turbidímetro de bancada, expresso em UNT (Unidade nefelométrica de turbidez); e cor aparente determinada por meio de espectrofotômetro, com absorvância à 455nm .

Para a quantificação dos indicadores microbiológicos foi utilizado o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações

específicas e confirmativas de coliformes totais (NMP100mL^{-1}) e *E.coli* (NMP100mL^{-1}), metodologia também preconizada no *Standart methods for examination of water and wastewater* (APHA, 2012).

Para enumeração de ovos de helmintos foi utilizada a Técnica de Bailenger modificada (AYRES; MARA, 1996), que deu origem à metodologia atualmente recomendada pela Organização Mundial de Saúde para a enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias brutas e tratadas.

Paralelamente, foram obtidos os dados das variáveis ambientais: temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar global (Wm^{-2}), por meio da estação meteorológica Jerônimo Rosado, localizada na UFERSA-Mossoró/RN, cujas coordenadas geográficas são: $5^{\circ} 11' \text{S}$ e $37^{\circ} 20' \text{O}$.

A análise de componentes principais (do inglês Principal Component Analysis - PCA) é um método exploratório de análise de dados que utiliza a estrutura de correlação entre múltiplos constituintes, produzindo um pequeno número de novas variáveis, denominadas componentes principais (CPs), que contêm a maior parte das informações no conjunto de dados original (OLSEN; CHAPPELL; LOFTIS, 2012).

Pelo agrupamento das variáveis que estão relacionadas entre si, os componentes

principais obtidos podem ser definidos, ou seja, podem receber uma identificação (rotulação), de acordo com o que as variáveis de seus respectivos grupos representam (ex: sedimentos, agricultura, esgoto). Cada um desses componentes explica uma porcentagem da variância encontrada no conjunto de dados total e, quanto maior esse valor, mais informações dos dados originais estará contida nesse único componente (GAMBLE; BABBAR-SEBENS, 2012).

A técnica de estatística multivariada - Análise de Componentes Principais, foi aplicada a partir dos dados totais, para identificar os fatores fundamentais que governam a desinfecção solar de águas cinza, desta forma

$$CS = \frac{0,5}{(CP)^2} \quad (1)$$

Em que;

CS - valor do critério de seleção; e

CP - autovalor do componente principal.

Para realização da ACP foi necessário decidir o número de componentes a reter, ou seja, quantas componentes são necessárias para explicar a variabilidade dos dados. Optou-se pelo uso do critério de Kaiser (1960). Segundo este critério se devem reter as componentes principais cujos valores próprios sejam superiores a 1, ou que possuem uma variância igual ou superior a 70%.

Para o processamento da análise de componentes principais foi empregado o programa computacional "R" versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Deve-se ressaltar que durante os meses de julho a dezembro de 2015, não foram detectados ovos de helmintos nas

amostras de água cinza nem antes e nem depois do processo de exposição à radiação solar. Este resultado indica que em relação ao atributo ovo de helminto, a água cinza pode ser utilizada para fins de irrigação restrita e irrestrita (ovos de helmintos ≤ 1), conforme normatização da OMS (WHO, 2006). Por esta razão o atributo ovos de helmintos não foi incorporado nas análises multivariada dos dados.

sumarizado as principais informações e a variância das variáveis originais. Pelo emprego da análise dos componentes principais, identificou-se a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, através dos "loadings". Sendo que Loadings próximos de "1" indicam que a variável é importante na formação da componente principal, enquanto loadings próximos de "0" indicam que a variável não é importante, podendo ser descartada (GOMES, 2013).

Utilizou-se o critério de seleção (CS) estabelecido por Ovalles e Collins (1988), para avaliar quais variáveis são mais significativas em cada componente. O CS foi obtido através da Equação 1:

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas consideradas significativas, com um nível de significância $\alpha = 0,05$ para o modelo de análise das componentes principais. Por meio da matriz de correlação foi possível identificar a relação entre as variáveis, demonstrando a tendência geral dos dados, bem como as variáveis de maior significância para a proposta deste estudo.

Tabela 2. Matriz de correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas da água residuária.

	H	RG	RA	TA	TG	pH	OD	C	TB	ST	CT	EC
H	1,00											
RG	-0,17	1,00										
RA	0,96	-0,03	1,00									
TA	0,73	0,40	0,81	1,00								
TG	0,53	0,58	0,66	0,78	1,00							
pH	0,40	-0,13	0,40	0,17	0,02	1,00						
OD	0,30	-0,02	0,26	0,13	0,08	0,64	1,00					
C	0,28	-0,03	0,29	0,10	0,05	0,43	0,15	1,00				
TB	-0,16	0,02	0,13	0,03	0,13	0,55	0,80	0,07	1,00			
ST	-0,02	-0,12	0,02	0,08	0,16	0,16	0,63	0,05	0,75	1,00		
CT	-0,58	0,01	0,58	0,37	0,40	0,52	0,76	0,27	0,75	0,63	1,00	
EC	-0,72	0,14	0,66	0,52	0,48	0,49	0,57	0,02	0,65	0,49	0,72	1,00

Nota: H - Hora de exposição solar; RG: Radiação Global (MJm^{-2}); RA: Radiação acumulada (MJm^{-2}); TA: Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$); TG: Temperatura da Água ($^{\circ}\text{C}$); OD: Oxigênio dissolvido (mgL^{-1}); C: Condutividade elétrica do efluente (μScm^{-1}); TB: Turbidez (UNT); ST – Sólidos suspensos totais (mgL^{-1}); CT (log do nível populacional de coliformes totais em NMP100mL^{-1}); e EC (log do nível populacional de *E.coli* NMP100mL^{-1}).

Segundo a classificação de Hopkins (2016), as correlações significativas foram categorizadas em: $0,0 < r \leq 0,1$ (Muito baixa), $0,1 < r \leq 0,3$ (Baixa), $0,3 < r \leq 0,5$ (Moderada), $0,5 < r \leq 0,7$ (Alta), $0,7 < r \leq 0,9$ (Muito alta) e $0,9 < r \leq 1,0$ (Extremamente alta).

As maiores correlações verificadas, estão relacionadas às questões climáticas, onde se percebe correlação positiva extremamente alta entre radiação global e tempo de exposição solar sendo $r = 0,96$; e

correlação muito alta entre as variáveis radiação global acumulada e temperatura do ar ($r = 0,81$). Há também correlação positiva muito alta entre temperatura do ar e temperatura da água ($r = 0,78$) e temperatura do ar e tempo de exposição solar ($r = 0,73$). A variável temperatura da água correlacionou-se de forma alta e positiva com a radiação global ($r = 0,58$) e radiação acumulada ($r = 0,66$), ver Tabela 2.

Em relação às variáveis microbiológicas percebeu-se correlação positiva muito alta entre a variável turbidez, com $r = 0,75$ para Log de coliformes totais, e correlação positiva alta ($r = 0,65$) para Log de *E. coli*. Como era de se esperar, a turbidez está correlacionada positivamente com SST e, conseqüentemente, também manteve correlação positiva com as variáveis microbiológicas, já que a turbidez é resultante da presença de partículas em suspensão, partículas em estado coloidal, como frações de rochas, areais e argilas, partículas microbiológicas, como fitoplâncton, e várias substâncias como zinco, ferro e manganês, originados em processos naturais de erosão (VON SPERLING, 2017).

A turbidez, também, manteve correlação negativa muito alta com a variável OD ($r = -0,80$), indicando que as maiores concentrações de turbidez estão

associadas aos menores valores de OD, haja vista que os componentes orgânicos inseridos na turbidez acarretam consumo dos níveis de OD.

Observou-se que os níveis populacionais microbiológicos estão correlacionados negativamente com as variáveis de tempo de exposição solar, radiação acumulada e temperatura do ar e da água, conforme os valores de r , encontrados na Tabela 2.

De um total de 66 coeficientes (37% do total) foi superior a “|0,5|” o que é indicativo de correlação razoável entre as variáveis empregadas (HOPKINS, 2016).

Pelo emprego da análise de componentes principais identificou-se que o melhor comportamento das variáveis relacionadas à desinfecção solar foi aquele composto por três componentes iniciais, explicando 79,46% da variância total dos dados (Tabela 3).

Tabela 3. Autovalores e autovetores para a desinfecção solar nos três componentes principais selecionados.

Variável	CP1	CP2	CP3
Autovalor	2,1780	1,5609	1,2493
Variância explicada	0,4313	0,2215	0,1419
Variância acumulada	43,1300	65,2800	79,4600
RG	0,0487	0,3301	0,4210
Rga	0,3095	0,3553	-0,2929
Tar	0,2465	0,5006*	-0,0471
Tag	0,2436	0,4758*	0,2393
pH	0,2999	-0,1601	-0,3907
OD	0,3635*	-0,2750	0,0405
Cond	0,1097	-0,004	-0,5461*
Turb	-0,3580*	0,3150	-0,1728
SST	-0,2733	0,2837	-0,4412
Log CT	-0,4205*	0,0789	0,0047
Log E.coli	-0,4094*	-0,0160	-0,0130

Nota: RG: Radiação Global (MJm^{-2}); Rga: Radiação acumulada (MJm^{-2}); Tar: Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$); Tag: Temperatura da Água ($^{\circ}\text{C}$); OD: Oxigênio dissolvido (mgL^{-1}); Cond: condutividade elétrica (μScm^{-1}); Turb: Turbidez (UNT); SST (mgL^{-1}); Log CT (log do nível populacional em NMP100mL^{-1}); e Log *E.coli* (log do nível populacional de *E.coli* NMP100mL^{-1}). *valores das variáveis mais significativas na formação das componentes, conforme critério de seleção.

Analisando a Tabela 3 e atendendo ao critério de Kaiser (1960) pode-se

considerar que três componentes iniciais foram qualificadas para as análises, são

elas: a primeira componente (CP1) microbiológica; a segunda componente (CP2) temperatura e a terceira componente (CP3), basicamente, formado pela variável condutividade.

A primeira componente (CP1) explica 43,13% da variabilidade dos dados, sendo representada por variáveis que apresentam alta correlação entre si, são elas: variáveis microbiológicas (coliforme total e *E.coli*), oxigênio dissolvido e a turbidez. Observou-se que a variável turbidez, coliformes totais e *E.coli*, correlacionam-se de maneira negativa, em relação à variável OD, corroborando a ideia de que o aumento no nível populacional de coliformes totais e *E.coli* ocasiona o consumo dos níveis de OD, devido à respiração das bactérias, assim como elevados valores de turbidez quando associados à componentes orgânicos acarretam o consumo nos níveis de OD.

O segundo componente principal (CP2) explica 22,15% da variabilidade dos

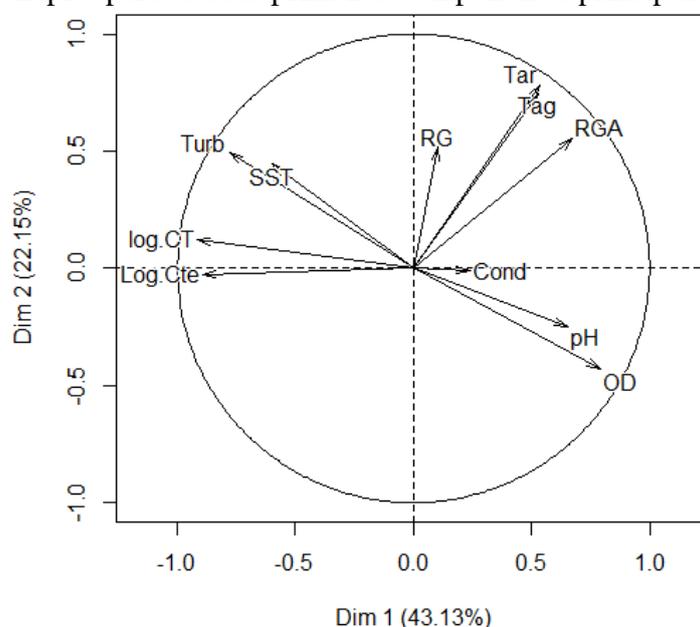
dados, observando uma elevada correlação positiva das variáveis climáticas de temperatura.

A terceira componente (CP3) explica 14,19% da variabilidade dos dados e apenas uma variável foi selecionada, por isso a condutividade elétrica não apresenta correlação significativa com nenhuma outra variável.

A análise das componentes principais permitiu reduzir a dimensionalidade dos dados, com a formação de 3 componentes principais explicando 79,46% da variância total dos dados originais, e com a redução no número de variáveis de 11 para 7, o que equivale a seleção de 63% das variáveis analisadas (Tabela 3).

A Figura 3 apresenta um gráfico biplot das duas primeiras componentes, exibindo os seus respectivos pesos, possibilitando uma visualização dos principais agrupamentos no conjunto de variáveis.

Figura 3. Gráfico Biplot para as duas primeiras componentes principais - CP1 e CP2



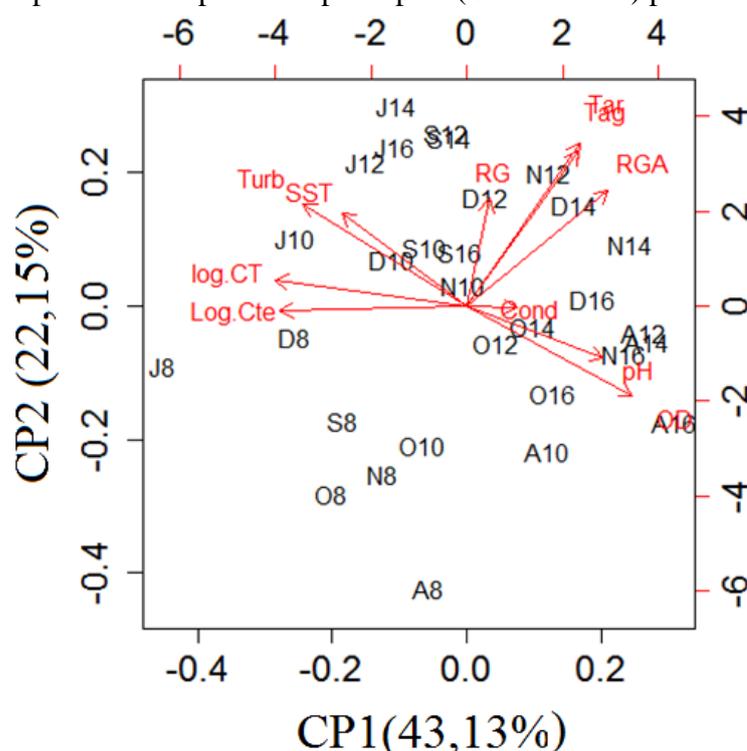
Nota: RG: Radiação Global (MJm^{-2}); Rga: Radiação acumulada (MJm^{-2}); TAR: Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$); TAG: Temperatura da Água ($^{\circ}\text{C}$); OD: Oxigênio dissolvido (mgL^{-1}); Cond: condutividade elétrica (μScm^{-1}); Turb: Turbidez (UNT); SST (mgL^{-1}); Log CT (log do nível populacional em NMP100mL $^{-1}$); e Log *E.coli* (log do nível populacional de *E.coli* NMP100mL $^{-1}$).

A proximidade dos vetores que representam as variáveis CT e Cte ($r=0,72$); assim como Turb e SST ($r=0,75$); Tar e Tag ($r=0,78$) e OD e pH ($r=0,64$) indica que estes pares de variáveis têm alta correlação entre eles. Da mesma forma, a localização do OD no quadrante oposto ao CT e Cte indicam correlações negativas ($r = -0,76$ e $r = -0,57$), respectivamente.

Na Figura 4 observaram-se dois agrupamentos de variáveis, reunidas em

função das inter-relações apresentadas entre si. É possível verificar um agrupamento das variáveis turbidez (Turb), nível populacional de coliforme total (LogCT) e nível populacional de *E.coli* (LogCte) no lado esquerdo do gráfico, indicando as variáveis microbiológicas, referentes à contaminação fecal (CT e Cte) e que são influenciados pela turbidez.

Figura 4. Gráfico biplot dos componentes principais (CP-1 e CP-2) para a desinfecção solar.



Nota: As letras representam as amostras em função dos meses (J, A, S, O, N, D – meses de julho a dezembro e os números representam os horários de exposição solar das amostras (8,10,12,14,16 horas do dia). As setas em vermelho indicam o ordenamento das variáveis. RG: Radiação Global (MJ.m^{-2}); Rga: Radiação acumulada (MJm^{-2}); Tar: Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$); Tag: Temperatura da Água ($^{\circ}\text{C}$); OD: Oxigênio dissolvido (mgL^{-1}); Cond: Condutividade elétrica (μScm^{-1}); Turb: Turbidez (UNT); SST (mgL^{-1}); Log CT (log do nível populacional de coliformes totais em NMP100mL^{-1}); e Log Cte (log do nível populacional de *E.coli* em NMP100mL^{-1}).

A variável OD, que por apresentar sinal contrário ao CT, Cte e Turb, e posicionar-se ao lado contrário no gráfico, indica justamente o contraste entre elas, enquanto as concentrações de CT, Cte e Turb são maiores, menores são as taxas de OD, já que a respiração dos microrganismos acarreta o consumo e,

consequentemente, redução dos níveis de OD.

Ao lado superior direito do gráfico da Figura 4 formou-se um agrupamento de variáveis indicativas das condições climáticas, formadas por temperatura do ar (Tar) e temperatura da água (Tag), radiação global (RG) e radiação global acumulada (RGA), ilustrando a relação

existente entre os mesmos, na qual quanto maior for a temperatura do ar, maior é a temperatura da água, já que os valores de temperatura da água seguem às oscilações naturais da temperatura do ar, assim como, conseqüentemente, maiores serão os valores de radiação global e acumulada.

A Figura 4 apresenta outro biplot com os resultados das análises de componentes principais, relacionando as variáveis, com o espaço amostral. As amostras foram codificadas em função dos meses de coleta (representado pelas letras - J, A, S, O, N, D – meses de julho a dezembro) e dos horários de exposição solar (representado pelos números – 8 (sem exposição solar), 10, 12, 14,16 horas do dia).

A partir da Figura 4 é possível detectar, padrões de associação entre amostras e variáveis em função das proximidades entre si. Notou-se que as amostras se agruparam em função do tempo de exposição à radiação solar e em relação à sazonalidade. Observou-se que todas as amostras que não foram submetidas à exposição solar estão próximas umas das outras (representada pelo número 8) e são influenciadas pelos altos níveis populacionais de CT e Cte. Assim, como se percebeu que em função da sazonalidade as amostras de julho e setembro mantiveram-se próximas e foram influenciadas, principalmente, pelas variáveis Turb e SST. Já as amostras de novembro e dezembro, identificadas pelas letras N e D nos horários de 12 e 14 horas, agruparam-se em função dos elevados valores das variáveis climáticas (temperatura do ar e da água e radiação

global acumulada), localizando-se na parte superior direita do gráfico.

6 CONCLUSÕES

O emprego da Análise de Componentes Principais promoveu a redução na dimensionalidade dos dados, como a formação de 3 componentes principais explicando 79,46% da variância total dos dados originais, e com a redução no número de variáveis de 11 para 7.

A primeira componente microbiológica, explica 43,13% da variabilidade dos dados; a segunda componente climática, explica 22,15% da variabilidade dos dados e a terceira componente associada à concentração de sais, explica 14,19% da variabilidade dos dados.

Foram consideradas as variáveis mais relevantes para o processo de desinfecção solar: coliforme total, *E.coli*, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura do ar, temperatura da água e condutividade.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através do PROJETO BRAMAR e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

8 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA; AWWA; WPCR, 2012. 1496 p.

AYRES, R.; MARA, D. **Analysis of wastewater for use in agriculture**: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. Geneva: WHO, 1996. 31 p.

BAKKE, H. A.; LEITE, A. D. M.; SILVA, L. D. Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, Curitiba, v. 4, n. 4, p. 1-14, 2008.

CHANAKYA, H. N.; KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v. 92, n. 2, p. 186-192, 2014.

GAMBLE, A.; BABBAR-SEBENS, M. On the use of multivariate statistical methods for combining in-stream monitoring data and spatial analysis to characterize water quality conditions in the White River Basin, Indiana, USA. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 184, n. 2, p. 845-875, 2012.

GOMES, V. S. P. S. **Análise estatística multivariada aplicada a dados hidrogeológicos**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Estatística)- Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

HOPKINS, W. G. **A new view of statistics**. Middlesbrough: Internet Society for SportScience, 2016. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/>> Acesso em: 18 ago. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Estações e dados**. Brasília: SEPEA, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> . Acesso em: 01 dez. 2015.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, Thousand Oaks, v. 20, n. 1, p. 141-151, 1960.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River watershed case study. **Water Research**, Oxford, v. 46, n. 9, p. 3110-3122, 2012.

OVALLES, F. A.; COLLINS, M. E. Variability of northwest Florida soils by principal component of analysis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 1430-1435, 1988.

QUELUZ, J. G. T.; ALVES, T. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Desinfecção solar: uma solução de baixo custo para o tratamento de águas residuárias. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 8, n. 3, p. 199-208, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 01 set. 2018.

SODIS. **Solar water disinfection**: a guide for the application of SODIS. Dübendorf: EAWAG/SANDEC Regula Meierhofer, 2002. 88 f. (SANDEC Report, 06/02)

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. 651 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**: volume 1: policy and regulatory aspects. Genebra: UNEP, 2006. 114 p.