

# ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA ÁGUA EM FINAL DE TRATAMENTO

## **Sergio Augusto Rodrigues<sup>(1)</sup>**

Professor da Faculdade de Tecnologia de Botucatu (FATEC BT). Mestre em Estatística pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Doutorando em Agronomia (Energia na Agricultura) pela UNESP Botucatu

## **Nilza Regina da Silva**

Pós-doutorado pelo Instituto de Biociência – Departamento de Bioestatística, UNESP – Botucatu,

## **Carlos Roberto Padovani**

Doutor em Estatística e Experimentação Agronômica pela Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz de Piracicaba (USP-SP). Professor Titular do Departamento de Bioestatística – Instituto de Biociência, UNESP Botucatu

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. José Ítalo Bacchi, s/n, - Jardim Aeroporto - Botucatu-SP - CEP: 18606-855 - Brasil - Tel: +55 (14) 3814-3004 - Fax: +55 (14) 3814-3004 - e-mail: [sergio@fatecbt.edu.br](mailto:sergio@fatecbt.edu.br)

## **RESUMO**

Vários fatores podem contribuir para alterações dos parâmetros de monitoramento da água potável, destacando-se, em especial, os climáticos tais como temperaturas mensais, radiação solar, precipitações pluviométricas, número de dias chuvosos, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e evaporação. Esta pesquisa envolveu parâmetros físico-químicos e microbiológicos, importantes para o monitoramento da qualidade da água, analisadas em amostras diárias em pontos sorteados da rede de distribuição de um município do estado de São Paulo, no período de 2007 a 2011. Entre os parâmetros foram analisadas os residuais de cloro, pH, turbidez, cor aparente, flúor, temperatura da água, ocorrência de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Considerando que a qualidade físico-química e microbiológica da água depende de alguma forma de características climáticas, um estudo sobre o comportamento dessas variáveis faz-se necessário pela sua importância para o uso racional da água potável, seu monitoramento e utilização dos recursos hídricos de forma sustentável. Utilizou-se a técnica de análise multivariada de dados, mais especificamente a Análise de Correlação Canônica. Os resultados obtidos indicam uma correlação positiva entre a combinação linear das variáveis climáticas e o conjunto de parâmetros de qualidade da água, apontando um indicativo significativo da influência das condições climáticas nas características da água.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise multivariada, variáveis climáticas, qualidade da água.

## **1 INTRODUÇÃO**

O Brasil possui um grande potencial de recursos hídricos a ser explorado. De acordo com Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006), aproximadamente 13% da disponibilidade mundial de água doce encontra-se em território brasileiro.

No entanto, essa ideia de abundância de água gerou nos brasileiros uma cultura de uso abusivo dos rios e lagos. Além disso, essa disponibilidade hídrica não é homogênea em seu território, tanto em termos de disponibilidade para o consumo, irrigação e outras atividades, quanto em termos de potencial para geração de energia elétrica. Enquanto na Região Amazônica, habitada por 5% da população brasileira, concentra-se 74% da água doce do país, nas demais regiões observa-se que 26% dos recursos hídricos estão disponíveis com maior facilidade de acesso para 95% da população. Já mais precisamente na sul e sudeste, com aproximadamente 32% da população brasileira, observa-se apenas 6% da água doce superficial disponível (BRASIL, 2006).

A crescente preocupação com o meio ambiente, destacando a má utilização da água potável disponível para o consumo humano, tanto em qualidade quanto em quantidade, faz aumentar o interesse por estudos relacionados com características climáticas e à degradação ambiental, tais como: desmatamento, ocupação desordenada dos leitos de rios e morros, uso inadequado do solo na agricultura, má utilização da água e qualidade da água potável disponível.

Nos municípios paulistas as empresas de Saneamento Básico realizam diariamente a coleta de amostras de água em pontos sorteados da rede de distribuição e nas estações de tratamentos (ETA). Entre as variáveis analisadas quanto aos aspectos físico-químicos e microbiológicos da água destacam-se: residuais de cloro, turbidez, cor, flúor, pH, temperatura da água, ocorrência de coliformes totais e o número de unidades formadoras de colônias de bactérias heterotróficas.

Atualmente a avaliação dessas variáveis são realizadas de acordo com Portaria 2914/11, a qual define que a água distribuída para a população deve ser controlada, exigindo uma quantidade mínima de amostras de água para análises laboratoriais e que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos estejam em conformidade com os padrões estabelecidos. No entanto, como a Portaria 2914/11 passou a ser utilizada integralmente somente em 2012, exigindo uma adequação dos equipamentos, e a pesquisa em questão necessita de um histórico maior de dados para os procedimentos estatísticos, o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2011 é considerado, pois é possível trabalhar com dados provenientes das análises de qualidade da água baseadas somente pela portaria anterior, ou seja, a Portaria 518/04 (BRASIL, 2004).

Considerando que as qualidades físico-química e microbiológica da água dependem de alguma forma de características como a precipitação, dias chuvosos, temperatura, umidade relativa, velocidade dos ventos, evapotranspiração, insolação e radiação solar e, sabendo da preocupação atual com o aumento da produtividade de culturas para produção de alimentos e energias renováveis, um estudo sobre o comportamento de variáveis climáticas associadas com características físico-químicas e microbiológicas da água, faz-se necessário tanto pela sua alta importância para o uso racional da água potável do município, assim como, pela utilização dos recursos hídricos de forma sustentável. O conhecimento adequado do relacionamento dessas variáveis pode contribuir para a melhoria das técnicas de monitoramento da qualidade da água distribuída à população.

Observam-se vários trabalhos na literatura caracterizando a qualidade da água, sendo poucos avaliando essas características associadas às condições climáticas. Oliveira et al. (2012) realizam um estudo com dados de variáveis físico-químicas e microbiológicas de amostra de água coletadas nas torneiras, antes do armazenamento domiciliar, para examinar a qualidade da água para o consumo humano. Freire (2012) apresenta um estudo avaliando os efeitos dos reservatórios domiciliares nas variáveis físico-químicas e microbiológicas da água distribuída na cidade de Recife-PE. Silva et al. (2008) descrevem a influência da precipitação pluviométrica nas características de qualidade da água do Rio Purus, AM e Prathumratana et al. (2008) realizam um estudo com dados de variáveis climáticas e hidrológicas no Rio Mekong, Ásia, avaliando as correlações com as variáveis de qualidade da água, por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson.

No entanto, estudar essas variáveis de forma independente não se configura como procedimento correto de análise estatística. Nos casos onde há uma estrutura de relacionamento simultâneo entre as variáveis, a utilização de técnicas multivariadas constitui-se em uma alternativa própria para a análise exploratória e procedimento inferencial.

Neste contexto, as técnicas de Estatística Multivariada podem ser utilizadas para indicar a importância de cada característica climática no monitoramento dos parâmetros de qualidade da água na rede de distribuição do município, fornecendo informações relevantes para ajudar na tomada de decisões e também na elaboração de políticas públicas nas diversas atividades econômicas, tais como uso racional de energia e recursos hídricos na agricultura e em áreas urbanas.

## **2 OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo analisar o relacionamento entre variáveis climáticas e características físico-químicas e microbiológicas da água potável e identificar quais variáveis climáticas são mais contributivas para a qualidade da água, envolvendo análises realizadas nas saídas dos reservatórios (após o tratamento).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo do relacionamento entre variáveis climáticas e da qualidade da água foi realizado a partir de banco de dados relativo ao período de janeiro 2007 a dezembro de 2011.

Para o monitoramento da qualidade da água, algumas variáveis são analisadas periodicamente pelas empresas responsáveis pela captação e distribuição da água. As empresas de saneamento são responsáveis por esse trabalho, realizando o controle da qualidade da água em todo sistema de abastecimento dos municípios, por meio de amostras diárias coletadas em pontos de distribuição, além de amostras nas estações de tratamento e na saída dos reservatórios (chamados de final de tratamento). A quantificação dos valores numéricos das variáveis que trazem informações a respeito da qualidade da água foi realizada por análises físico-químicas e microbiológicas de amostras coletadas no final de tratamento.

Os dados diários de variáveis climáticas foram obtidos junto a Estação Meteorológica que disponibiliza informações climáticas para o município avaliado.

Dessa forma, caracteriza-se um banco de dados formado pelas médias mensais de dois conjuntos de variáveis: um considerando as variáveis relacionadas com a qualidade da água e outro considerando as variáveis climáticas.

Para avaliar os dados mensais dos últimos cinco anos desses dois conjuntos foi utilizado um procedimento estatístico de análise multivariada, considerando simultaneamente todas as variáveis e toda a estrutura de variação existente nos dados, mais precisamente a Análise de Correlação Canônica (JOHNSON; WICHERN, 2002).

O objetivo da análise de correlação canônica é avaliar o grau de associação entre dois conjuntos de variáveis quantitativas aleatórias, resumindo as informações de cada conjunto em combinações lineares. Para cada conjunto de variáveis, várias combinações lineares são determinadas, as quais são chamadas de variáveis canônicas. As correlações entre as variáveis canônicas do primeiro conjunto com as variáveis canônicas do segundo são chamadas de correlações canônicas. Os coeficientes dessas combinações lineares são determinados de forma a se obter a maior associação possível entre as variáveis canônicas de cada conjunto e que estas sejam não correlacionadas (JOHNSON; WICHERN, 2002 e MINGOTI, 2005).

Nesse estudo será considerada a associação entre o conjunto de variáveis físico-químicas e microbiológicas da água avaliadas no final de tratamento e o conjunto de variáveis climáticas. Dessa forma, considerando  $p$  variáveis aleatórias representando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e  $q$  variáveis climáticas, o vetor aleatório de dimensão  $p + q$  é dado por:

$$X' = [X_1 \quad \dots \quad X_p \quad X_{p+1} \quad \dots \quad X_{p+q}].$$

No entanto o vetor de aleatório  $X'$ , é dividido em dois conjuntos de variáveis e expresso por:

$$X' = (X^{(1)} \quad X^{(2)})$$

sendo que  $X^{(1)} = (X_1 \quad \dots \quad X_p)$  é um vetor aleatório representando o conjunto de  $p$  variáveis físico-químicas e microbiológicas da água e  $X^{(2)} = (X_{p+1} \quad \dots \quad X_{p+q})$  é um vetor representando o conjunto de  $q$  variáveis climáticas.

As combinações lineares obtidas a partir das  $p = 8$  variáveis de qualidade da água foram representadas pelo vetor  $u_t$  e, conseqüentemente, das  $q = 10$  variáveis climáticas pelo vetor  $v_t$ , sendo que  $t = 1, \dots, \min(p, q)$ .

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma análise preliminar dos dados climáticos mostra que o período com maior precipitação pluviométrica se concentra entre os meses de outubro a janeiro, destacando-se dezembro e janeiro como os meses mais chuvosos, chegando em média a 416,9 mm em janeiro. O mesmo acontece com o número de dias chuvosos no mês. Em contrapartida, entre os meses de maio a setembro as chuvas são muito escassas, observando em média cinco dias com chuva por mês e o mês de agosto apresentando uma média de 43,6 mm de precipitação. Além disso, verificou-se temperaturas médias amenas durante todos os meses do ano, com mínimo de 17,75°C no mês de junho e máxima no mês de fevereiro por volta de 23,60°C. Observa-se ainda que o período menos chuvoso corresponde aos meses mais frios.

Considerando agora as variáveis de qualidade da água, percebe-se que não há grandes alterações nas médias mensais dessas variáveis medidas no final do tratamento, indicando um padrão médio dos parâmetros de qualidade da água equivalente durante todos os meses. Apenas a variável “Bactérias heterotróficas” apresenta algumas alterações entre os meses, no entanto, essas alterações estão dentro do limite aceitável para o consumo humano considerando os parâmetros estipulados pela legislação brasileira (BRASIL, 2004).

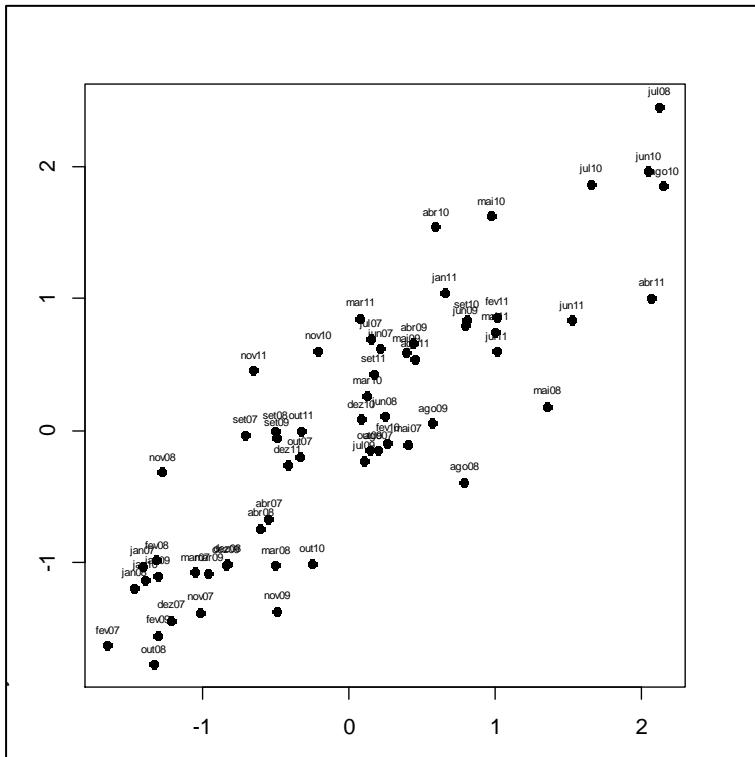
Considerando o coeficiente de correlação, observa-se, no final de tratamento da água, apenas correlação positiva forte entre turbidez e cor aparente (0,83), e correlações negativas moderadas entre flúor e cloro (-0,68) e entre o cloro e pH (-0,54).

A Tabela 1 apresenta os coeficientes de correlação canônica, com seus respectivos testes de significância. Das oito correlações canônicas encontradas, apenas as duas primeiras se mostraram significativas ( $p < 0,001$ ), apresentando valores iguais a 0,872 e 0,694 respectivamente. Esses resultados mostram que existe uma associação entre as características climáticas e as relacionadas à qualidade da água no final do tratamento, apontando o indicativo da influência das condições climáticas nas características da água.

**Tabela 1. Autovalor, correlação canônica e resultado do teste estatístico**

| Pares de variáveis canônicas | Autovalor    | Correlação Canônica | Estatística de teste | gl        | Valor p           |
|------------------------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------|-------------------|
| $(u_1, v_1)$                 | <b>0,760</b> | <b>0,872</b>        | <b>153,37</b>        | <b>80</b> | <b>&lt; 0,001</b> |
| $(u_2, v_2)$                 | <b>0,481</b> | <b>0,694</b>        | <b>84,33</b>         | <b>63</b> | <b>0,038</b>      |
| $(u_3, v_3)$                 | 0,327        | 0,572               | 52,20                | 48        | 0,314             |
| $(u_4, v_4)$                 | 0,241        | 0,491               | 32,41                | 35        | 0,594             |
| $(u_5, v_5)$                 | 0,160        | 0,399               | 18,24                | 24        | 0,791             |
| $(u_6, v_6)$                 | 0,092        | 0,304               | 9,11                 | 15        | 0,872             |
| $(u_7, v_7)$                 | 0,044        | 0,210               | 3,92                 | 8         | 0,865             |
| $(u_8, v_8)$                 | 0,025        | 0,158               | 1,43                 | 3         | 0,698             |

A Figura 1 apresenta os valores padronizados do primeiro par de variáveis canônicas ( $u_1$  e  $v_1$ ). Observa-se que valores altos da variável canônica  $v_1$  (representando as variáveis climáticas) estão associados com valores altos da variável  $u_1$  (variáveis de qualidade da água). Verifica-se também que, principalmente os meses de junho e julho apresentam altos valores para o conjunto de variáveis climáticas e para o conjunto de variáveis de qualidade da água, em contrapartida, valores baixos para os dois conjuntos de variáveis destacam-se nos meses entre dezembro a março.



**Figura 1: Gráfico de dispersão do primeiro par de variáveis canônicas padronizadas ( $u_1$  representado no eixo y e  $v_1$  representado no eixo x)**

As correlações entre as variáveis originais com o primeiro par de variáveis canônicas, conhecidas como cargas canônicas (primeira coluna) e cargas canônicas cruzadas (segunda coluna) são destacadas na Figura 2. Quanto maior a carga canônica, indicada no gráfico por barra mais longa, mais importante é a variável original para representar sua respectiva variável canônica.

Analisando as cargas canônicas para interpretação de  $u_1$ , as variáveis de qualidade da água que apresentam cargas mais altas são cloro (0,82), temperatura da água (-0,68), e flúor (-0,46). Percebe-se que concentrações maiores de cloro ocorrem com menores temperaturas da água e concentrações de flúor. Esse padrão sugere uma interpretação para  $u_1$  relacionada com “substâncias químicas do tratamento da água”.

Já observando as cargas canônicas do conjunto de variáveis climáticas, as variáveis que apresentam maiores correlações com  $v_1$  são temperatura mínima (-0,67), umidade relativa do ar (-0,67), número de dias chuvosos (-0,62) e insolação (0,56). Esse padrão sugere uma interpretação para  $v_1$  relacionada com “características de umidade e temperatura”.

As variáveis de qualidade da água que possuem maior associação com o conjunto de variáveis climáticas são cloro (0,71) e temperatura da água (-0,59). Enquanto que as variáveis climáticas com maior associação com o conjunto de variáveis de qualidade de água são temperatura mínima (-0,58), umidade relativa (-0,58), dias chuvosos (-0,54) e insolação (0,48).

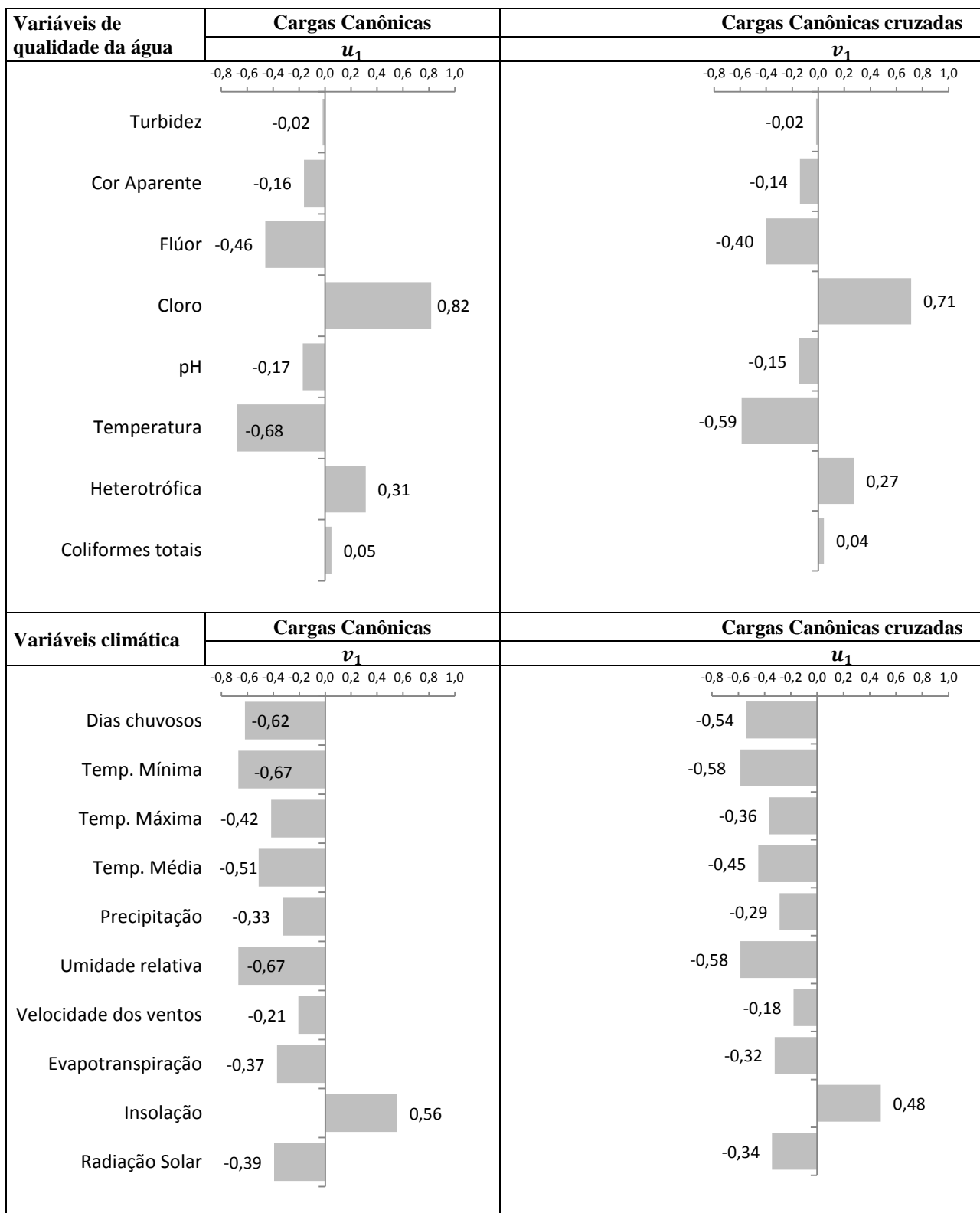


Figura 2: Gráfico das correlações de cada variável original com as variáveis canônicas ( $u_1$  e  $v_1$ ), considerando o final de tratamento

## 5 CONCLUSÃO

Os meses de junho e julho mostraram valores altos para as duas variáveis canônicas relativas à primeira correlação canônica significativa, indicando um período mais seco e temperaturas mais baixas associado com um período em que a água no final de tratamento apresenta temperaturas mais baixas, menos flúor e mais cloro.

## 6 REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade e dão outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF**, p. 266-9, 26 de mar. 2004, seção 1.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil. Brasília, DF, 2006. (Plano Nacional de Recursos Hídricos, v. 1).
3. FREIRE, R. C. Qualidade da água nos reservatórios domiciliares na região metropolitana da cidade do Recife-PE. *J. Manag. Prim. Health Care*, v. 3, n. 2, p.102-105, 2012.
4. JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*, 5.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 767 p., 2002.
5. MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 297 p., 2005.
6. OLIVEIRA, A. S. et al. Qualidade da água para consumo humano distribuída pelo sistema de abastecimento público em Guarabira - PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró-RN, v. 7, n. 2, p.199-205, 2012.
7. PRATHUMRATANA, L., STHIANNOPKAO, S., KIN, K. W. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. *Environment International*, v. 34, p.860-866, 2008.
8. SILVA, A. E. P.; ANCELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. *Acta Amazônica*, v.38 (4), p.733-742, 2008.