

SIMILARIDADE ESPECTRAL DA ÁGUA EM AÇUDES DA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

L. C. G. Chaves¹, A. C. M. Meireles², F. B. Lopes³, E. M. de Andrade⁴

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar a similaridade espectral da água dos Açudes Orós, Trussu e Muquém, localizados na bacia do Alto Jaguaribe, porção sudoeste do estado do Ceará. Para tanto foram tomadas medidas radiométricas *in situ*, através do espectrorradiômetro ASD FieldSpec® 3. As campanhas de campo ocorreram em outubro de 2013 (período seco) e março de 2014 (período chuvoso), sendo amostrados 20 pontos no Orós, seis no Trussu e três no Muquém. Simultaneamente às medidas radiométricas foram coletadas amostras de água para análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos. Aplicou-se a Análise de Agrupamento aos dados espectrais para observar a similaridade espectral das águas nos três reservatórios. O Orós apresentou alta reflectância, enquanto o Trussu e Muquém apresentaram valores baixos, assemelhando-se à resposta espectral de águas claras. Os dendrogramas de agrupamento dos dados espectrais mostraram que no período chuvoso as águas do Trussu e do Muquém estão no mesmo grupo espectral, e separadas das águas do Orós, evidenciando que as chuvas influenciam na similaridade espectral das águas superficiais do semiárido brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, análise de agrupamento, águas superficiais.

SPECTRAL SIMILARITY OF WATER IN SURFACE RESERVOIRS OF THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

SUMMARY: This study aimed to evaluate the spectral similarity of the water in the Orós, Trussu and Muquém reservoirs. They are located in the Alto Jaguaribe Basin, southwestern part of the State of Ceará, Brazil. For this, radiometric measurements were used through the FieldSpec ASD spectroradiometer. Field campaigns carried out in October 2013 (dry season)

¹ Doutor em Engenharia Agrícola, UFC – Fortaleza, Ceará. Professor do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, FATENE, Caucaia, Ceará. Email: luizcarlosguerreiro@gmail.com.

² Doutora em Engenharia Civil/Recursos Hídricos, UFC – Fortaleza, Ceará, Professora de Agronomia, CCAB/UFCA, Cariri, Ceará. Email: ana.meireles@ufca.edu.br

³ Doutor em Engenharia Agrícola, UFC – Fortaleza, Ceará. Professor Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza, Ceará. Email: lopesfb@ufc.br.

⁴ Professora Ph.D, Depto. de Engenharia Agrícola, Pesquisadora do INCTSal, CCA/UFC, Fortaleza, Ceará. Email: eandrade@ufc.br.

and March 2014 (rainy season). 20 points were sampled at Orós, six at Trussu and three at Muquém. Simultaneously with the radiometric measurements, water samples were collected to analyze the physical-chemical and biological parameters. The cluster analysis was applied to the spectral data to observe the spectral similarity of the waters in that three reservoirs. The Orós reservoir presented high reflectance, while the Trussu and Muquém reservoirs presented low values, resembling the spectral response of clear water. The dendrograms of the spectral data showed that in the rainy season the waters of the Trussu and Muquém reservoirs are in the same spectral group and they are separated from the waters of the Orós reservoir. This fact shows that the rains have influence in the spectral similarity of the surface waters of the Brazilian semi-arid region.

KEYWORDS: Remote sensing, cluster analysis, surface waters

INTRODUÇÃO

A água constitui elemento essencial às funções vitais e dos 3% que representam a água doce total do planeta Terra, apenas um terço estão presentes nos rios, lagos, lençóis freáticos superficiais e atmosfera constituindo as fontes de água doces utilizadas para satisfazer as necessidades humanas e ambientais (WETZEL, 1983). Entretanto, a qualidade desse recurso está a cada dia sendo mais degradada, levando os tomadores de decisões a buscarem novas ferramentas para o monitoramento da qualidade da água (BONANSEA *et al.*, 2015). Técnicas de monitoramento convencionais dantes empregadas não são mais suficientes por si só para garantir que a potabilidade da água seja preservada em suas características físico-químicas e biológicas. Segundo dados do Ministério da Saúde apenas 67% das cidades brasileiras estão preparadas para realizar um relativo controle da qualidade das águas consumidas por sua população (ROSE, 2015). O sensoriamento remoto tem despontado como ferramenta auxiliar no monitoramento da qualidade das águas superficiais interiores, pois suas medidas além de oferecer boa cobertura espacial e temporal, facilitam a definição de localizações representativas para medições em barcos, e possibilitam a inclusão de um número maior de lagos e reservatórios programas de monitoramento da qualidade da água.

A análise do comportamento espectral das águas superficiais interiores é de grande importância, haja vista que esses mananciais estão sob influência direta das ações antrópicas, o que lhes confere características de degrabilidade proveniente do deflúvio superficial principalmente agrícola (MERTEN & MINELLA, 2002; PALMA *et al.*, 2014).

O estudo espectral das águas superficiais visando identificar a similaridade entre as características espectrais das águas que se encontram em reservatórios superficiais tem sido objeto de estudo no Brasil (GALO & CICERELLI, 2015; MEIRELES *et al.*, 2012).

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a similaridade espectral da água em três reservatórios superficiais de dimensões diferentes, localizados na região do semiárido cearense, nos períodos seco e chuvoso.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nos meses de dezembro de 2013 (período seco) e março de 2014 (período chuvoso) nos açudes Orós (barragem Kubistchek de Oliveira), Trussu (barragem Roberto Costa) e Muquém, localizados na bacia do Alto Jaguaribe, na porção sudoeste do estado do Ceará. O açude Orós, teve sua conclusão em 1961, está sobre o leito do rio Jaguaribe, sua barragem está localizada no município de Orós e seu espelho d'água compreende os municípios de Orós, Iguatu e Quixelô; atualmente é o segundo maior do Estado. O açude Trussu está localizado totalmente no município de Iguatu e fora concluído em 1996 sobre o rio Trussu, possuindo capacidade de armazenamento de 301,00 hm³ (SIRH/CE, 2013). Já o açude Muquém, situado em Cariús é o menor dos três reservatórios estudados (capacidade de 47,64 hm³) e o mais novo, tendo sido concluído no ano de 2000.

Para este trabalho, no açude Orós foram amostrados 20 pontos, no Trussu foram seis e no Muquém foram três, distribuídos ao longo dos espelhos d'água de cada reservatório conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos Açudes Orós, Trussu e Muquém em âmbito nacional e regional, e os pontos de coletas

As leituras radiométricas das superfícies aquáticas foram realizadas sempre no horário compreendido entre 10 e 14 h, utilizando-se espectrorradiômetro ASD FieldSpec®3 Hi-Res, com campo de visada de 25°, resolução espectral de 1 nm, priorizando-se os comprimentos de onda no intervalo entre 400 e 900 nm. Simultaneamente, foram coletadas amostras de água para análise físico, química e biológica em laboratório. Também foram feitas as medidas de pH, condutividade elétrica, turbidez, transparência de Secchi e temperatura. Tanto as coletas quanto as medidas (exceção da leitura de Secchi) foram realizadas a uma profundidade de até 0,30 m da superfície da água. As amostras de água, coletadas em garrafas de plástico opaco (para clorofila-*a*) e de vidro âmbar para análise do fitoplâncton. As análises foram realizadas em laboratório de acordo com APHA *et al.* (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as respostas espectrais das águas dos açudes Orós (a), Trussu (b) e Muquém (c) para dezembro de 2013 – período seco (Figuras 2a, b e c), observa-se que os menores valores ocorreram para as águas do Muquém, onde o P02 – foi a curva que apresentou valores mais elevados – FRB máximo de 0,03. Já o Trussu apresentou FRB máximo próximo a 0,06. Tanto as águas do Muquém quanto as do Trussu mantiveram suas respostas espectrais de forma suave em todos os pontos amostrais, caracterizando águas de alta transparência com baixas concentrações de TSS. Entretanto, os dois reservatórios deste estudo apresentaram pequenos picos de reflectância na faixa do verde do espectro eletromagnético (em torno de 560 nm), demonstrando que, mesmo se tratando de águas claras quanto à concentração de sólidos, as mesmas não estão livres da presença de pigmentos fotossintetizantes em sua superfície. O fato destes pigmentos não serem tão elevados podem ser em decorrência da presença de matéria orgânica nas águas dos mesmos.

Figura 2 – Resposta espectral das águas dos açudes Orós (a), Trussu (b) e Muquém (c), em dezembro de 2013

As águas do Orós (Figura 2a) apresentaram comprimentos de ondas espectrais bem mais expressivos do que do Trussu e do Muquém, com valores máximos de FRB próximos a 0,12, em 700 nm. Uma transparência relativamente baixa e valores elevados de reflectância nessa faixa do vermelho estão associados às altas concentrações de sólidos em suspensão, e conseqüentemente a maior espalhamento da REM no dia da coleta (NOERNBERG et al., 1996). Na coleta do período chuvoso (março de 2014), as respostas espectrais dos três reservatórios (Figuras 3a, b e c) foram semelhantes àquelas medidas em dezembro de 2014, quanto à sua forma e distribuição. Ocorreram, entretanto, mudanças nos valores da FBR. No Orós, por exemplo, (Figura 3a) alcançou valores máximos de FRB próximos a 0,18, no P02. Observa-se que as curvas P02 e P13 apresentaram comportamento semelhante e diferenciando-se das demais. Nestes dois pontos amostrais a região espectral compreendida entre 590 e 690 nm não apresentou picos de absorção e sim de reflectância. Esse comportamento é típico de águas com presença de sedimentos em suspensão. Conforme constatou Jensen (2009), quando a concentração de sedimentos em suspensão na água aumenta, a reflectância é maior em todos os comprimentos de onda, principalmente na faixa entre 500 e 700 nm, além de apresentar um aumento em direção da faixa do infravermelho. Kirk (2009) também destaca que a presença de sólidos inorgânicos em suspensão ocasiona uma elevação dos comprimentos de onda de 570 a 680 nm. É importante destacar que os

pontos de coletas P02 e P03 estão situados próximos à afluição do rio Jaguaribe no Orós (Figura 1), onde é comum o aporte de sedimentos, principalmente no período chuvoso. A elevada reflectância das águas no período chuvoso em relação ao período seco (Figura 2a) para todos os comprimentos de onda nesses dois pontos amostrais evidencia a ocorrência carreamento de materiais inorgânicos ao reservatório, principalmente pela ação das chuvas. Além disso, a maioria dos espectros do Orós tem um pico entre 550 e 600 nm e uma inclinação de 400 a 550 nm, indicativos de alta absorção de matéria orgânica dissolvida (CDOM) e de partículas não algais (RUDDICK; DE CAUWER; PARK, 2006).

Figura 3 – Resposta espectral das águas dos açudes Orós (a), Trussu (b) e Muquém (c), em março de 2014

Para todos os pontos amostrais no período chuvoso, as águas do Orós apresentaram picos de reflectância máximo no verde e no vermelho, caracterizando águas com altas concentrações de fitoplâncton, com ocorrência de florações à superfície (NOVO, 2010). Respostas espectrais semelhantes foram obtidas por Londe (2008) avaliando águas de um reservatório em São Paulo e por Sarmiento & Pereira Filho (2015) em águas de um reservatório localizado no Rio Grande do Sul. Assim como no período seco as águas do Trussu e Muquém não apresentaram grande variabilidade em suas curvas de reflectância no período chuvoso, com reflectâncias muito baixas e não apresentando picos de reflectância consideráveis. É importante destacar que quanto mais pura for a água, mais baixa é a sua absorção no intervalo do azul, crescendo em direção às faixas do vermelho e infravermelho próximo. Na Figura 3a observa-se que as águas do Trussu, em relação às do Muquém (Figura 3c) apresentam um pico de reflectância em 550 nm. Este fato expressa a presença de fitoplâncton em sua superfície, mesmo em pouca quantidade. As curvas espectrais dos açudes Trussu e Muquém foram totalmente distintas das curvas referentes ao açude Orós. Constatou-se que a baixa variabilidade e concentração dos Componentes Opticamente Ativos (COAs) nos açudes Trussu e Muquém resultaram em águas com baixa reflectância, enquanto que no Orós ocorreu o oposto, tendo-se águas de alta reflectâncias associadas à considerável variação e concentração dos COAs, conforme foi constatado também por Wachholz (2007) em reservatório localizado na região Sul do Brasil.

O agrupamento das águas dos três reservatórios de acordo com resposta espectral, no período seco, mostrou que a mesma dividiu a similaridade das respostas em três grupos (Figura 4).

Figura 4 – Dedrograma dos espectros agrupados dos açudes Orós, Trussu e Muquém, para dezembro de 2013

O Grupo I foi composto por parte das águas do Orós (P15, P16, P17, P18, P19 e P20), por cinco, dos seis pontos de coletas do Trussu (P1, P3, P4, P5 e P6) e por todos os pontos de coletas do Muquém (P1, P2 e P3). No Grupo II estão as respostas espectrais referentes ao P2 do Trussu e, P4, P5, P6, P7, P9, P10, P11, P14 e P21 do açude Orós; o Grupo III ficou representado apenas por aqueles pontos localizados na zona fluvial – parte alta – do reservatório, representada por P1, P2, P3, P12 e P13. Essa similaridade entre as respostas espectrais mostra que as águas do Trussu e do Muquém assemelham-se às águas do Orós que estão situadas da zona de transição à zona lacustre do reservatório. Nestes pontos os valores de FRB foram os menos elevados (Figura 2a). Nesta faixa do reservatório é onde os COAs geralmente estão mais diluídos, explicando a existência dessa similaridade com a resposta obtida nos outros dois reservatórios.

No período chuvoso, a resposta espectral das águas apareceu mais heterogênea do que para o período seco, apresentando divisão em quatro grupos (Figura 5).

Figura 5 – Dedrograma dos espectros agrupados dos açudes Orós, Trussu e Muquém, para a coleta de março de 2014

No Grupo I, agruparam-se as respostas espectrais das águas da parte lacustre – parte baixa – do açude Orós, representadas por P4, P5, P6, P7, P9, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20 e P21 e, no Grupo II ficaram incluídas somente todas as águas do Trussu e do Muquém. Os demais pontos amostrais do Orós foram distribuídos entre os Grupos III (P2 e P13) e IV (P1, P3, P10, P11 e P12). Portanto, com as chuvas os pequenos reservatórios não sofrem tanta influência em suas características espectrais, haja vista os dois reservatórios estarem incluídos no mesmo grupo de similaridade. Porém, o mesmo não ocorreu com o reservatório maior que mesmo tendo suas águas subdivididas em três grupos, em nenhum deles se assemelhou às águas do Trussu de Muquém, que são aquelas consideradas de melhor qualidade.

Esses resultados mostram que espectralmente as águas dos reservatórios superficiais localizados na região semiárida apresentam maior similaridade entre eles no período seco. Esse comportamento pode estar associado à dinâmica dos Componentes Opticamente Ativos (COAs) na época das chuvas. Principalmente a atividade fitoplanctônica que encontra nesse período condições propícias ao seu desenvolvimento em escala maior (ENNES; FERREIRA; GALO, 2012). Meireles et al. (2012) constataram através da análise de agrupamento espectral da água em dois reservatórios (um urbano e outro no semiárido brasileiro) que os mesmos se distinguem em decorrência da predominância dos COAs em suas águas. Tanto no período seco quanto chuvoso as águas dos açudes Trussu e Muquém encontram-se quase que totalmente no mesmo grupo, mostrando que essas águas são espectralmente similares.

Entretanto, as águas do açude Orós sempre se apresentam divididas em grupos espectrais diferentes dentro de cada período. Lopes (2013) constatou que as águas do Orós tem sua homogeneidade influenciada por ações antrópicas que aparecem nas proximidades do açude e ao longo de sua bacia.

CONCLUSÕES

As águas dos açudes Trussu e Muquém, nos dois períodos, assemelharam-se aos espectros característicos de águas claras. No período seco, as repostas espectrais do Trussu e do Muquém são similares às águas da parte lacustre do Orós, pelo efeito da diluição dos COAs. No período chuvoso as águas do Trussu e Muquém apresentam a mesma similaridade espectral, separando-se totalmente dos Grupos das águas do Orós que apresentam maior reflectância e conseqüentemente águas de pior qualidade. As chuvas no semiárido brasileiro trazem como consequência a heterogeneidade das características espectrais em massas de águas superficiais de grande porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - American Public Health Association; Awwa - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.

BONANSEA, M. et al. Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). **Remote Sensing of Environment**, v. 158, p. 28-41, 2015.

ENNES, R.; FERREIRA, M. S.; GALO, M. L. B. T. Análise sazonal da ocorrência de fitoplâncton no reservatório de Nova Vanhandava com base em imagens Modis. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 001-006.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos

GALO, M. L. B. T.; CICERELLI, R. E. Análise da variabilidade sazonal na concentração de clorofila a por meio da classificação supervisionada pelo SAM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 0941-0948.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KIRK, J. T. O. **Ligth and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.

LONDE, L. R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado – Ibitinga (SP)**. 2008. 223 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.

LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MEIRELES, A. C. M. *et al.* Evaluation of Spectral Similarity of Water in Urban and Rural Reservoirs Using Cluster Analysis. *In: CENTURY WATERSHED TECHNOLOGY WORKSHOPS: IMPROVING WATER QUALITY AND THE ENVIRONMENT*, 21., 2012, Bary (Itália). **Anais...** Bary (Itália): ASABE, 2012. p. 1-7.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência future. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

NOERNBERG, M. A. *et al.* Relação entre profundidade Secchi e fator de reflectância da água de ambientes aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 933-939.

NOVO, E. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PALMA, P. *et al.* Risk Assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal). **Science of the Total Environment**, v. 488-489, p. 208-219, 2014.

ROSE, R. E. **Monitoramento da água precisa melhorar**. Disponível em: <<http://sustentabilidade.com/monitoramento-agua-precisa-melhorar/>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

RUDDICK, K. G.; DE CAUWER, V.; PARK, Y. Seaborne measurements of near infrared water-leaving reflectance: The similarity spectrum for turbid waters. **Limnol. Oceanogr.**, v. 5, n. 2, p. 1167-1179, 2006.

SARMENTO, F. L; PEREIRA FILHO, W. Análise temporal de florações de algas identificadas por imagens de satélite no reservatório Passo Real – RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 6787-6794.

SIRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará: Açudes construídos no estado.** Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/index.php?status=1>>. Acesso em: 05 jan. 2013.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais.** 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

WETZEL, R. G. **Limnology**, 2nd Edition. Saunders College Publishing, Philadelphia, PA. 1983.

Figura 1

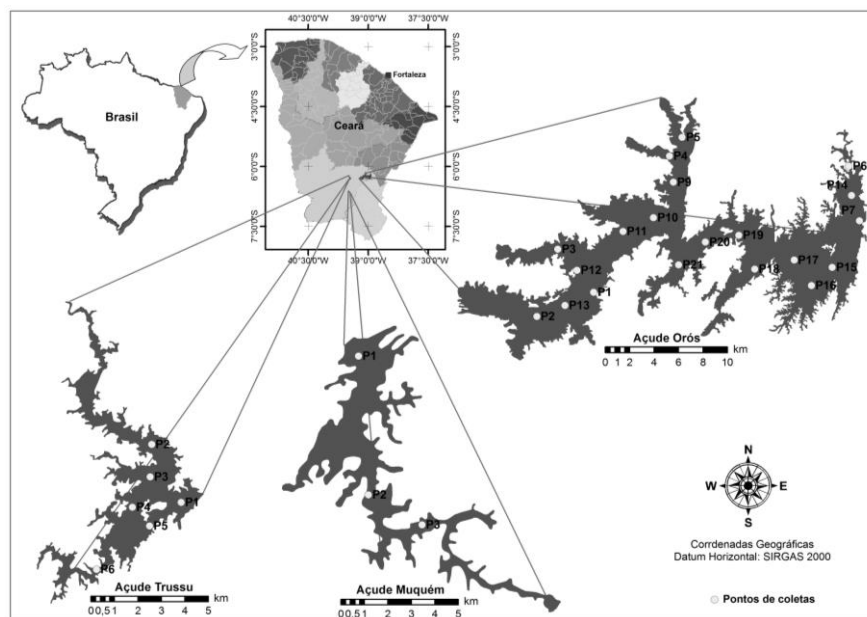


Figura 2

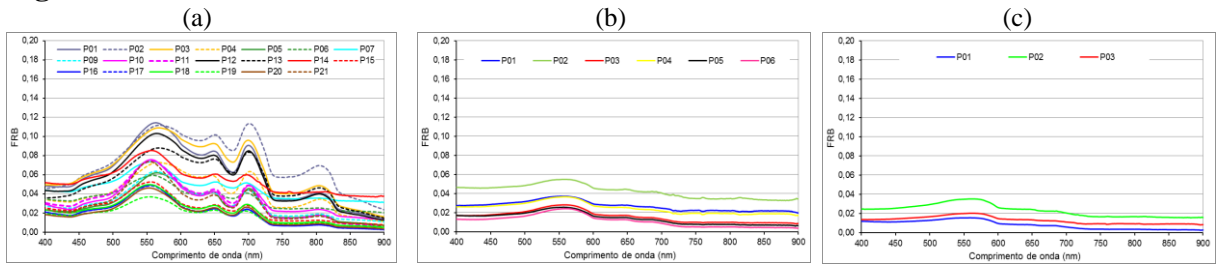


Figura 3

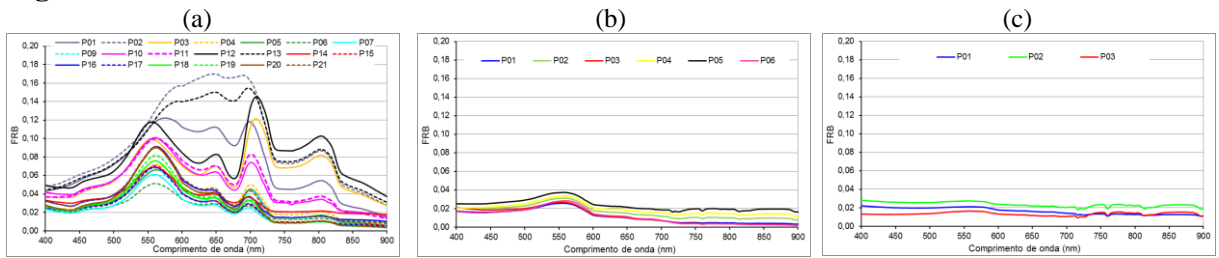


Figura 4

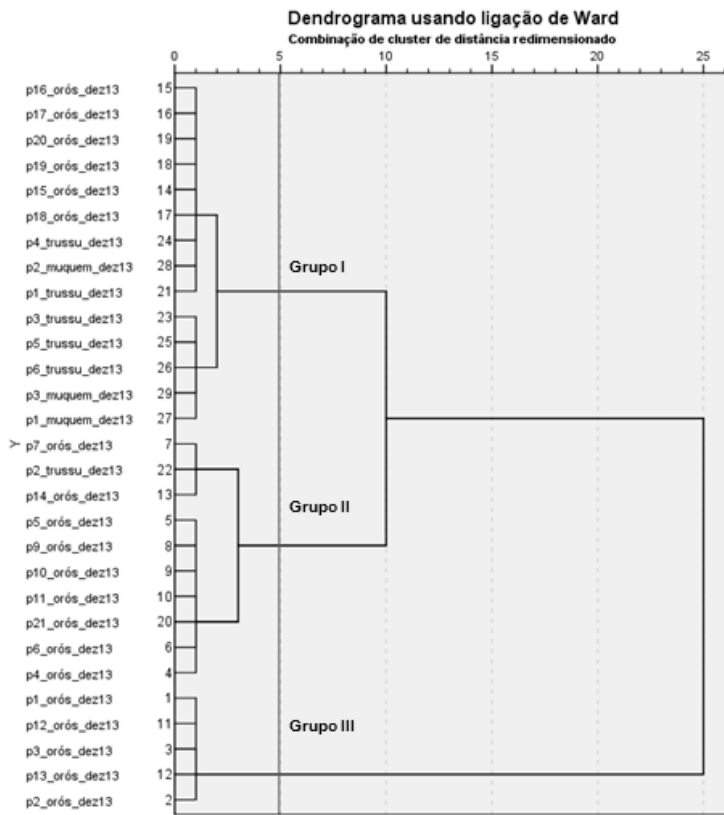


Figura 5

