

ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DE BANANA D'ÁGUA (*MUSA CAVENDISHII*) EM CACHOEIRAS DE MACACU-RJ: PERSPECTIVAS SOB O NEXO ENERGIA-ÁGUA-ALIMENTOS

Mateus Costa Corrêa¹; Amaro Olímpio Pereira Junior²; Claude Cohen³

¹ NIMAS/UFF – Núcleo de Inovação Meio Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Federal Fluminense e PPE/COPPE/UFRJ – Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. (mateus.correa@ppe.uff.br).

² PPE/COPPE/UFRJ – Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. (amaro@ppe.uff.br)

³ NIMAS/UFF – Núcleo de Inovação Meio Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Federal Fluminense e PPGE/UFF – Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal Fluminense. (claudecohen@id.uff.br).

Resumo: A sustentabilidade de sistemas agroindustriais requer abordagens integradas capazes de avaliar simultaneamente o uso de recursos hídricos e a geração de energia, especialmente em cadeias produtivas que geram resíduos com potencial de aproveitamento. Nesse contexto, a abordagem do nexo energia-água-alimentos tem se consolidado como uma ferramenta analítica adequada para a avaliação sistêmica da sustentabilidade de processos produtivos. A perspectiva sistemática do nexo energia-água-alimentos pode ser aplicada na análise dos resíduos sólidos, sobretudo os resíduos orgânicos relacionados aos alimentos, pela água associada e pela energia consumida na produção e pelo potencial de aproveitamento energético daquele resíduo. A fruticultura, responsável por 25% da produção agrícola nacional e um dos segmentos mais relevantes do agronegócio brasileiro, demanda água e energia em seus processos produtivos, que geram perdas e resultam em produtos cujo consumo contribui para o aumento dos resíduos orgânicos no país, portanto, o aproveitamento energético de resíduos orgânicos agroindustriais possui ligação com o nexo energia-água-alimentos por constituir uma destinação adequada destes resíduos, pela geração de energia e contribuição para redução da necessidade das fontes fósseis e pela maior eficiência do uso da água empregada no processo produtivo onde os resíduos são gerados. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a sustentabilidade ambiental da cadeia produtiva da banana d'água (*Musa cavendishii*) no município de Cachoeiras de Macacu-RJ sob a perspectiva do nexo energia-água-alimentos. Para isso, a pegada hídrica total, verde e azul da cultura foi estimada com o auxílio do *software Cropwat 8.0* e posterior alocação mássica da pegada hídrica do fruto para a casca. A pegada hídrica azul faz referência ao volume de água proveniente de águas superficiais e subterrâneas, enquanto a pegada hídrica verde refere-se ao volume de origem pluvial armazenada temporariamente na superfície, solo úmido ou vegetação. Em seguida, foram realizados ensaios experimentais de pirólise lenta e intermediária da casca de banana, empregando catalisador e variando parâmetros operacionais, visando maximizar o rendimento e a qualidade do bio-óleo. Os produtos obtidos foram caracterizados quanto aos rendimentos, composição e poder calorífico,

além da avaliação de aplicações energéticas e não energéticas. Por fim, foi proposto e aplicado o Índice de Performance Hídrico-Energética para Biocombustíveis (IPHE-Bio), integrando as métricas de pegada hídrica e poder calorífico do bio-óleo. Os resultados indicam que o aproveitamento energético da casca de *Musa cavendishii* apresenta viabilidade técnica condicionada à aplicação de técnicas de *upgrading* e contribui para a redução da pressão sobre os recursos hídricos e para a valorização de resíduos agroindustriais, evidenciando a aplicabilidade da abordagem do nexo energia-água-alimentos na avaliação da sustentabilidade de sistemas bioenergéticos.

Palavras-chave: Nexo energia-água-alimentos, Aproveitamento energético, Pegada Hídrica, Resíduos agroindustriais; Fruticultura.

SUSTAINABILITY ANALYSIS OF THE BANANA (*MUSA CAVENDISHII*) PRODUCTION CHAIN IN CACHOEIRAS DE MACACU, RJ, BRAZIL: PERSPECTIVES UNDER THE ENERGY–WATER–FOOD NEXUS

Mateus Costa Corrêa¹; Amaro Olímpio Pereira Junior²; Claude Cohen³

¹ NIMAS/UFF – Núcleo de Inovação Meio Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Federal Fluminense e PPE/COPPE/UFRJ – Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. (mateus.correa@ppe.uff.br).

² PPE/COPPE/UFRJ – Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. (amaro@ppe.uff.br)

³ NIMAS/UFF – Núcleo de Inovação Meio Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Federal Fluminense e PPGE/UFF – Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal Fluminense. (claudecohen@id.uff.br).

Abstract: The sustainability of agro-industrial systems requires integrated approaches capable of simultaneously assessing water resource use and energy generation, particularly in production chains that generate residues with valorization potential. In this context, the water-energy-food nexus has been consolidated as an appropriate analytical framework for the systemic evaluation of sustainability in productive processes. The systemic perspective of the energy–water–food nexus can be applied to the analysis of solid waste, particularly organic food-related waste, considering the associated water use, the energy consumed during production, and the energy recovery potential of such waste. Fruit farming, responsible for 25% of national agricultural production and one of the most relevant segments of Brazilian agribusiness, requires water and energy in its production processes, which generate losses and result in products whose consumption contributes to the increase of organic waste in the country. Therefore, the energy recovery of agro-industrial organic waste is linked to the energy–water–food nexus, as it constitutes an appropriate disposal pathway through energy generation, contributes to reducing dependence on fossil sources, and enhances the efficiency of water use in the production process where the waste is generated. This study aims to assess the environmental sustainability of the banana (*Musa cavendishii*) production chain in the municipality of Cachoeiras de Macacu, RJ, Brazil, from the perspective of the water-energy-food nexus. For this purpose, the total, green, and blue water footprints of the crop were estimated using the Cropwat 8.0 software, followed by mass allocation of the fruit water footprint to the banana peel. Blue water footprint refers to the volume of water derived from surface and groundwater sources, whereas green water footprint refers to the volume originating from rainfall temporarily stored on the surface, in soil moisture, or in vegetation. Subsequently, experimental tests of slow and intermediate pyrolysis of banana peels were conducted using a catalyst and varying operational parameters in order to maximize bio-oil yield and quality. The obtained products were characterized in terms of yields, composition, and calorific value, as well as evaluated for energy and non-energy applications. Finally, the Water-Energy Performance Index for Biofuels (IPHE-Bio) was

proposed and applied, integrating water footprint metrics and the calorific value of the bio-oil. The results indicate that the energetic use of *Musa cavendishii* peels presents technical feasibility conditioned on the application of upgrading techniques and contributes to reducing pressure on water resources and promoting the valorization of agro-industrial residues, demonstrating the applicability of the water-energy-food nexus approach in the sustainability assessment of bioenergy systems.

Keywords: Energy–Water–Food Nexus; Energy Recovery; Water Footprint; Agro-Industrial Waste; Fruit Farming.