



## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA MANGA BRASILEIRA

Jade Müller Carneiro<sup>1</sup>, Viviane Barros<sup>2</sup>, Vanderlise Giongo<sup>3</sup>, Marília Folegatti Matsuura<sup>4</sup>, Maria Cléa Brito de Figueirêdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, [jademullerc@gmail.com](mailto:jademullerc@gmail.com)

<sup>2</sup> Embrapa Agroindústria Tropical

<sup>3</sup> Embrapa Semiárido

<sup>4</sup> Embrapa Meio Ambiente

**Resumo:** Neste trabalho, avaliaram-se os impactos potenciais de 1 kg de manga produzida em sistema convencional baseado no monocultivo, praticado no Vale do São Francisco, principal região brasileira produtora e exportadora brasileira. Os dados foram coletados em fazendas da região, tendo sido considerados os processos de mudança no uso da terra, produção de mudas, produção e transporte de fertilizantes, pesticidas e outros insumos, produção de manga em campo, operações agrícolas e beneficiamento pós-colheita. A produção de manga em campo considerou os estágios de implantação do pomar, crescimento da planta e produção, com uma vida útil do pomar de 30 anos. Os métodos de avaliação de impacto escolhidos utilizados foram: IPCC (2007;100a) para a categoria mudança climática, ReCiPe Midpoint (H) para eutrofização de água doce e marinha, USEtox para toxicidade humana - câncer e não-câncer -, e ecotoxicidade, e Pfister et al (2009) para escassez hídrica. Observou-se que a produção de fertilizantes teve a maior contribuição no impacto sobre o clima (38%), seguida da produção em campo (34%) e do beneficiamento de pós-colheita da fruta (18%). Na pegada hídrica, os maiores impactos em todas as categorias se deveram à produção da fruta em campo: escassez hídrica (99%), toxicidade humana câncer (78%) e não-câncer (61%), eutrofização de águas doces (36%) e marinha (92%), ecotoxicidade (42%). Conclui-se que os principais pontos críticos ambientais são a produção da fruta em campo, associada principalmente ao uso de fertilizantes minerais e à irrigação, bem como a produção de fertilizantes (principalmente na pegada de carbono) e a pós-colheita.

**Palavras-chave:** Culturas perenes, Vale do São Francisco, Fruticultura, *Mangifera indica*.

### Introdução

O Brasil é o sexto maior exportador de manga do mundo (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2017), tendo a região semiárida do submédio do vale do São Francisco como a principal produtora, com participação de 76% da produção nacional e 90% da exportação da fruta (Oliveira et al., 2010). Apesar da clara importância socioeconômica da manga no contexto nacional, a esta estão associados diversos problemas ambientais, como toda produção agrícola e agroindustrial de larga escala; exemplo disso são a supressão da vegetação nativa, a poluição hídrica e atmosférica, entre outros.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia normatizada pelas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006 utilizada para quantificar os impactos potenciais de produtos e serviços por meio de uma análise holística de seus ciclos de vida. Embora a ACV seja cada vez mais utilizada para avaliar produtos agrícolas e alimentícios, na fruticultura há pouco consenso quanto a metodologia e indicadores ambientais utilizados nestes estudos (Cerutti et al., 2011), e ainda menos para culturas perenes, cuja alta variabilidade entre os ciclos as torna particularmente um desafio para estudos de ACV.

Para a manga (*Mangifera indica*), o trabalho realizado por Basset-Mens et al. (2016) é o mais completo exemplo publicado até o momento, tendo este incluído as fases de produção de mudas, crescimento da mangueira, fase com produtividade crescente e produção plena, considerando um pomar com tempo de vida de 25 anos. Esse estudo, entretanto, não considerou os tratamentos da pós-colheita e empacotamento da fruta.

O presente trabalho apresenta três inventários relacionados a manga (produção de mudas, produção de manga, e embalagem da fruta), e estimou os impactos potenciais do sistema de produção, identificando pontos críticos ambientais.



## Metodologia

### *Caracterização da produção*

As mudas de mangueira são produzidas em viveiros de frutíferas na região por técnicas de enxertia; seus ciclos duram cerca de oito meses, no qual são irrigadas por microaspersão, fertilizadas com adubos minerais e periodicamente podadas (manualmente) e pulverizadas com pesticidas. As plantas são mantidas em sacos plásticos e protegidas por telados.

No pomar, as atividades começam com a limpeza do terreno, seguida de operações de nivelamento e subsolagem; após a adubação de fundação, as mudas são transplantadas com o auxílio de trator. Os tratamentos culturais são feitos periodicamente, visando a manutenção do pomar: a roçagem, a cada dois meses e a pulverização (aplicação de pesticidas), mensalmente, ambas mecanizadas. A colheita se inicia no quarto ano do pomar, e esta é realizada manualmente.

Após a colheita, a manga é levada à unidade de beneficiamento, onde passa por processos de lavagem, tratamento hidrotérmico, no qual é utilizada uma caldeira para aquecimento da água, aplicação de cera e fungicida, e então finalmente é embalada para distribuição.

### *Definição da unidade funcional e fronteiras do sistema*

A função do processo estudado é produzir manga para consumo no mercado interno e para exportação; a unidade funcional escolhida foi de 1 quilograma de manga embalada.

A fronteira do sistema considera toda a produção e transporte de insumos utilizados nas fazendas, viveiros e galpão de embalagens – fertilizantes, agroquímicos, produtos de limpeza, maquinário e combustível utilizado nas operações agrícolas mecanizadas, materiais para embalagem, entre outros. Não são considerados infraestrutura e máquinas do sistema de irrigação, a embalagem dos insumos, o destino final das mangueiras, e processos posteriores ao empacotamento do produto (distribuição, consumo, disposição final).

### *Coleta e compilação de dados*

Os dados primários fornecidos pelos produtores de manga e os produtores de mudas se referem ao uso insumos como fertilizantes, pesticidas e água, entre outros; estes se referem ao período de 2010 a 2016 e foram fornecidos pelos produtores de manga da região ou coletados por meio de questionários. Para as operações agrícolas mecanizadas, foram utilizados dados secundários da base de dados *Ecoinvent*, bem como para a produção e transporte de insumos.

Os dados da produção da fruta foram compilados de diversas parcelas em fases diferentes de produção, localizadas em fazendas de Petrolina e Juazeiro da Bahia, totalizando uma amostra de cerca de 140 hectares, dividida em 13 (treze) parcelas dos cultivares Keitt, Kent, Palmer, Tommy Atkins e Haden. Estes dados foram separados em três fases: fase de implantação (anos 1 a 3) – sem produção; fase de crescimento (anos 4 a 5) – com produção não-estabilizada; e fase de produção plena (anos 6 a 30). Quanto à última, entretanto, só haviam valores disponíveis para cinco anos, que foram extrapolados para os anos restantes. Os dados das três fases foram somados e então divididos pelos 30 anos do pomar, compondo um ano médio. Para normalizar as quantidades de insumos para 1 quilo de manga, os valores médios anuais foram divididos pela produtividade média dos 30 anos.

### *Cálculo de emissões*

As emissões relativas à mudança no uso da terra foram calculadas pela metodologia proposta pelo IPCC (2006), utilizando dados de biomas de MCTI (2010). Assume-se para emissão de GEE de mudança de bioma que 8% da biomassa retirada é colhida, 20% é queimada e 72% sofre decaimento (Nemecek et al., 2016).

Quanto às emissões para o ar na produção de mudas e da fruta, as emissões de amônia e dióxido de carbono devido à aplicação de ureia foram estimadas segundo Nemecek e Schnetzer (2011). Já as emissões de óxidos de nitrogênio

foram segundo Nemecek et al. (2015), e as de óxido nitroso e de dióxido de carbono pela aplicação de calcário, de acordo com IPCC (2006). Dentre as emissões para o meio aquático, o nitrato, liberado por lixiviação, foi estimado pelo método SQCB (Faist Emmenegger et al., 2009) e o fósforo, transportado por erosão para rios, de acordo com Nemecek e Schnetzer (2011). As emissões de fosfato para águas subterrânea e superficiais foram desprezadas, já que de acordo com Novais & Smyth (1999), os solos brasileiros permitem baixa mobilidade do fósforo. As emissões de metais pesados e pesticidas são estimadas pelo método proposto por Nemecek e Schnetzer (2011), assumindo-se que todo pesticida aplicado vira emissão para o solo.

Por fim, na unidade de pós colheita, considera-se que todo o efluente líquido da lavagem é lançado ao solo. As emissões relativas à queima de combustível na caldeira foram calculadas de acordo com IPCC (2006).

### Avaliação de impactos

As seguintes categorias e métodos de avaliação foram empregados nesse estudo: i) escassez hídrica (em m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O), método de Pfister et al. (2009); ii) eutrofização marinha (kg N equivalentes) e eutrofização de água doce (kg P equivalentes), ReCiPe midpoint versão hierarquizada (Goedkoop et al., 2013); iii) toxicidade, nas subcategorias ecotoxicidade aquática (medida em Unidade Tóxica Comparativa para ecossistemas – CUTe), toxicidade humana com efeitos cancerígenos e toxicidade humana não-câncer (Unidade Tóxica Comparativa para humanos – CUTh), método Usetox (Rosenbaum et al., 2008); e iv) mudanças climáticas (kg CO<sub>2</sub> equivalentes), utilizando o método IPCC, 2007 para 100 anos. A simulação dos impactos foi realizada no software SimaPro versão 8.0.5.13.

### Resultados e discussão

Os primeiros resultado apresentados são os três inventários de ciclo de vida (tabelas 1, 2 e 3).

**Tabela 1 – Inventário da produção de mudas de manga, para 1 muda**

Inventário	Unid.	Qtd.	Micronutrientes	kg	1.08E-03
<b>Produto</b>			Pesticidas	kg	2.13E-05
Muda de mangueira	n	1.00E+00	Espalhante adesivo	kg	3.20E-06
<b>Entradas</b>			Plástico	kg	4.88E-04
Área	ha	1.88E-06	<b>Saídas</b>		
Sementes	n	1.20E+00	Amônia	kg	2.01E-04
Água	m3	3.36E-02	Oxido nitroso	kg	2.17E-05
Eletricidade	kWh	2.53E-02	Óxidos de nitrogênio	kg	4.37E-05
N	kg	1.11E-03	Dióxido de carbono	kg	1.73E-03
P	kg	2.08E-05	Nitrato	kg	6.16E-04
K	kg	2.64E-06	Fósforo	kg	2.44E-09

Fonte: elaboração própria.

**Tabela 2 – Inventário da produção de manga, média dos 30 anos, para 1 hectare produzido e para 1 quilo de manga**

Inventário	Unid	1ha	1kg manga
Manga	kg	34666.67	1.00E+00
<b>Entradas</b>			
Área	ha	1.00	2.88E-05
Mudas	n	12.53	3.62E-04
Água	m3	12741.10	3.68E-01



Eletricidade	kWh	9609.72	2.77E-01
Calçário	kg	14.64	4.22E-04
Gesso	kg	587.32	1.69E-02
N	kg	98.51	2.84E-03
P	kg	70.34	2.03E-03
K	kg	205.10	5.92E-03
Pesticidas	kg	7.66	2.21E-04
<b>Saídas</b>			
Amônia	kg	9.79	2.82E-04
Oxido nitroso	kg	2.38	6.87E-05
Óxidos de nitrogênio	kg	3.88	1.12E-04
Dióxido de carbono	kg	67.80	1.96E-03
Nitrato	kg	179.0	5.16E-03
Fósforo	kg	4.4E-02	1.28E-06
<b>Emissões - Mudança no uso do solo</b>			
Oxido nitroso	kg	0.16	4.62E-06
Óxidos de nitrogênio	kg	1.66	4.79E-05
Dióxido de carbono	kg	-1927.48	-5.56E-02
Metano	kg	27.43	7.91E-04
Monóxido de carbono	kg	0.97	2.80E-05

Fonte: elaboração própria.

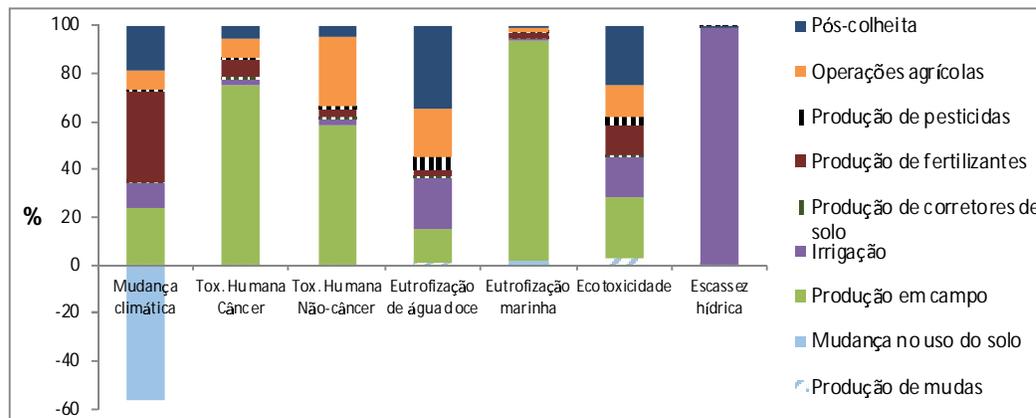
**Tabela 3 – Inventário da fase pós-colheita e embalagem, para 1kg de manga embalada**

<b>Inventário</b>	<b>Unid.</b>	<b>Qtd.</b>			
			Pallet de madeira	kg	7.44E-04
Manga embalada	kg	1.00E+00	Fita adesiva	kg	3.25E-08
<b>Entradas</b>			<b>Saídas</b>		
Manga	kg	<b>1.05E+00</b>	<b>Efluente de lavagem</b>		
Área	ha	6.68E-09	Nitrogênio	kg	8.34E-07
Água	m3	6.50E-01	Cloro	kg	9.00E-06
Eletricidade	kWh	5.43E-02	Carbonato	kg	7.00E-06
Combustível (GLP)	kg	1.02E-03	Sódio	kg	4.59E-06
Fungicida	kg	4.11E-07	Silicato	kg	2.94E-06
Desinfetante	kg	3.08E-03	Enxofre	kg	3.43E-07
Cera de carnaúba	kg	8.33E-03	Cálcio	kg	5.20E-07
Detergentes	kg	1.81E-04	<b>Emissões - Caldeira</b>		
Álcool gel	kg	7.80E-07	Dióxido de carbono	kg	3.08E-03
Cola	kg	7.67E-04	Metano	kg	4.39E-08
Papelão	kg	2.30E-04	Oxido nitroso	kg	1.95E-07

Fonte: elaboração própria.

Em seguida, na figura 1 e nos parágrafos seguintes, são apresentados os resultados da avaliação de impacto da manga para um quilograma de manga embalada.

Figura 1 – Avaliação de impactos de ciclo de vida



Fonte: elaboração própria.

O impacto de 1 kg de manga nas mudanças climáticas é de  $4,28E-02$  kg CO<sub>2</sub>-eq. A análise de dominância de processos identificou que os mais impactantes foram a produção de fertilizantes (38%) e a produção agrícola em campo (34,0%). Na produção de fertilizantes, o principal responsável pelas emissões foi o fertilizante nitrogenado, com uma contribuição de 27,7% das emissões totais, e na produção em campo, as emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foi o maior contribuinte, devido ao uso de fertilizantes nitrogenados.

Quanto a eutrofização de água doce, obteve-se um impacto de  $9,46E-06$  kg P-eq/kg de manga. As emissões deveriam-se, principalmente, à produção da fruta (36%), à pós-colheita (34%), e às operações agrícolas (20%). Tanto na produção em campo quanto na pós-colheita, o impacto deveu-se principalmente ao consumo de eletricidade.

No estudo de Basset-Mens et al (2016) para manga na mesma região, obteve-se um impacto sobre a eutrofização de águas doces de  $7,15E-05$  kg P/kg manga. Sem considerar a pós-colheita, o sistema avaliado por este estudo foi obtido o valor de  $6,20E-06$  kg P-eq, cerca de 11 vezes menor. O uso de fertilizante fosfatado foi cerca de 30% maior no inventário de Basset-Mens et al (2016), entretanto a diferença acentuada entre os impactos leva a conclusão que outras diferenças metodológicas podem ter influenciado este resultado, como o caso das emissões de fosfato e fósforo desprezadas neste estudo.

Para eutrofização marinha, observou-se um impacto de  $1,41E-03$  kg N-eq/kg manga. A produção de agrícola de manga contribui para 93% deste valor, relacionado à emissão de nitrato pela lixiviação de solos, outra vez associada ao uso de fertilizante nitrogenado.

Para a categoria ecotoxicidade aquática obteve-se um valor de  $5,20E-01$  CTUe/kg. A produção da fruta teve a maior contribuição, sendo os principais agentes o cromo, emitido pela utilização de fertilizantes minerais, e o fungicida mancozebe. A pós-colheita também teve grande participação, associada à produção de eletricidade.

Na toxicidade humana com potencial cancerígeno, a produção em campo de manga gerou 78% do impacto, e este teve como principal agente o cromo emitido devido ao uso de fertilizantes minerais - principalmente fosfatados. Para toxicidade não-câncer, similarmente, a maior parte do impacto deveu-se ao lançamento de metais pesados, mas também houve um impacto de 29% que está associado à produção de maquinário utilizado nas operações agrícolas.

Por fim, quanto à escassez hídrica, praticamente todo o impacto (99%) deveu-se à irrigação da cultura.

A manga foi intensamente irrigada no sistema estudado, com um volume de  $33,89$  m<sup>3</sup>/planta, para a média de 30 anos de produção, tendo tido um consumo de água superior ao considerado no estudo de Basset-Mens et al (2016) para a mesma região ( $28,58$  m<sup>3</sup>/planta). Nesse estudo, entretanto, não avaliou a escassez ou depleção hídrica da manga. Segundo os valores da base de dados Agribalyse (Koch & Salou, 2016), obteve-se um valor de depleção do recurso hídrico de  $0,0448$  m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O-equivalentes/kg manga, pelo método Swiss Ecoscarcity 2006 (Frischknecht et al.,



2006). O resultado do sistema estudado neste trabalho pelo mesmo método foi de 0,0595 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O-equivalentes/kg, portanto 33% superior.

## Conclusões

A avaliação de impactos mostrou uma predominância da fase de produção do pomar na maior parte das categorias de impactos, associada principalmente uso de fertilizantes nitrogenados e à irrigação – tanto pelo consumo de água, quanto pela produção de eletricidade. A pós-colheita, que também tiveram grande contribuição, também teve impactos devidos majoritariamente à eletricidade. A produção de fertilizantes em si teve impacto considerável sobre a mudança climática, sendo o principal contribuinte nesta categoria.

## Referências

Basset-Mens, C., Vannière, H., Grasselly, D., Heitz, H., Braun, A., Payen, S., Koch, P. and Biard, Y. (2016). Environmental impacts of imported and locally-grown fruits for the French market: A cradle-to-farm-gate LCA study. *Fruits*, 71(2), pp.93-104.

Cerutti A.K., Bruun S., Beccaro G.L., Bounous G. (2011) A review of studies applying environmental impact assessment methods on fruit production systems, *J. Environ. Manag.* 92. 227– 2286.

Emmenegger, M.F., Reinhard, J., Zah, R., Ziep, T., Weichbrodt, R., Wohlgemuth, V., Berlin, F.H., Roches, A., Knuchel, R.F., Gaillard, G. (2009) Sustainability Quick Check for Biofuels. Intermediate background report. Agroscope Reckenholz-Tänikon, Dübendorf.

Frischknecht, R., Steiner, R., & Jungbluth, N. (2009). The Ecological Scarcity Method—Eco-Factors 2006-A method for impact assessment in LCA (Methode der ökologischen Knappheit—Ökofaktoren 2006-Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen).

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R. V. (2013) ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). Climate Change (2007): Synthesis report: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report. IPCC, Geneva.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). (2006) ISO 14040:2006- Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework. Geneva: ISO, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). (2006) ISO 14044:2006- Environmental management - Life cycle assessment - requirements and guidelines. Geneva: ISO, 2006.

Koch, P., Salou, T. (2016). AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique – Version 1.3. November 2016. Ed ADEME. Angers. France. 332 p.

Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. (2010) Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Brasília: MCTI, 2010.

Nemecek T., Bengoa X., Lansche J., Mouron, P., Riedener E., Rossi V. & Humbert S. (2015) Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Version 3.0, July 2015. World Food LCA Database (WFLDB). Quantis and Agroscope, Lausanne and Zurich, Switzerland.

NEMECEK, T., SCHNETZER, J. (2011) Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Zurich, 2011.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J., REINHARD, J. (2016) Updated and harmonised greenhouse gas emissions for crop inventories. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 21, n. 9, p. 1361-1378.



Novais, R.F., Smyth, T.J. (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG (Brasil). Dept. de Solos.

PFISTER, Stephan; KOEHLER, Annette; HELLWEG, Stefanie. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental science & technology*, v. 43, n. 11, p. 4098-4104, 2009.

ROSENBAUM, Ralph K. et al. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 13, n. 7, p. 532, 2008.