

II-184 – SANEAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES: O CASO DO ESTADO DA BAHIA

Samuel Alex Sipert Miranda⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental na PPGECEA/UEFS.

Eduardo Cohim⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Tecnologias Limpas pela Universidade Federal da Bahia (TECLIM/UFBA). Doutor em Energia e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia. Professor titular da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Ana Caroline Bastos Lima de Souza⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana.

Endereço⁽¹⁾: Rua Brumado, 453 – Jardim Cruzeiro – Feira de Santana - BA - CEP: 44024-222 - Brasil - Tel: (75) 99135 2952 - e-mail: ssipert@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo quantificar os fluxos de nutrientes em uma residência e, partir dos resultados, discutir sobre a importância do saneamento para a gestão e recuperação de recursos nos espaços urbanos. Um balanço de fluxo de nutrientes foi desenvolvido para o Estado da Bahia, considerando os alimentos e detergentes como fluxos de entrada, e a urina, fezes, água cinza e resíduos sólidos orgânicos como os fluxos de saída. Os resultados evidenciaram uma alta taxa de desperdício de nutrientes, com grande potencial para recuperação e aproveitamento em sistemas agrícolas, e economia de energia pela diminuição de demanda de fertilizantes químicos. A urina se destacou como a corrente do saneamento que mais contribuiu para o fluxo que sai das residências.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Fertilizantes, Excretas.

INTRODUÇÃO

As práticas de gerenciamento de água, energia e nutrientes nos sistemas de saneamento convencionais são insustentáveis (WERNER et al., 2009). Água potável é oferecida em grandes quantidades aos consumidores finais, representando altos custos energéticos e financeiros, apenas para ser utilizada para transporte de excretas e usos domésticos que não necessitam de níveis de potabilidade. Os nutrientes retirados dos solos agrícolas efetivamente consumidos pela população na forma de alimentos, são perdidos através das correntes de esgoto. Estima-se que, no Brasil, mais da metade do volume de esgoto produzido seja lançada diretamente nos corpos hídricos (BRASIL, 2018).

O aumento dos fluxos de nutrientes para os sistemas hídricos e marinhos representa um sério risco ambiental, tendo em vista que causam eutrofização, diminuindo a qualidade da água e da biodiversidade (DODDS; SMITH, 2016). Rockstrom et al. (2009) e Steffen et al. (2015) concluíram que as mudanças dos fluxos de nitrogênio e fósforo causadas pelas ações humanas já estão além de limites estabelecidos para guiar o desenvolvimento humano de maneira sustentável.

Para o Brasil, esse modelo de gestão de nutrientes também representa perdas econômicas. Sendo um dos maiores produtores agrícolas do mundo, é também um dos que mais consome fertilizantes químicos para manter sua eficiência de produção (UN CONTRADE, 2018). Além disso, é dependente do mercado externo, importando mais da metade de sua demanda de nitrogênio e fósforo, e mais de 90% de sua demanda de potássio (ANDA, 2018).

A recuperação de nutrientes e o seu retorno aos sistemas agrícolas poderia reduzir essa dependência além de aliviar os custos energéticos e ambientais da produção de fertilizantes químicos. Portanto, é de extrema importância que o saneamento seja planejado para possibilitar o fechamento do ciclo de nutrientes, enxergando

os resíduos como recursos e integrando as novas preocupações de eficiência energética e sustentabilidade ambiental em suas operações (LAZAROVA et al., 2012).

Para tal fim, métodos quantitativos como a Análise de Fluxo de Materiais (AFM) têm sido utilizados para possibilitar uma melhor compreensão dos fluxos dos nutrientes dentro do espaço urbano e identificar desafios e possíveis soluções de gestão em escala regional e global (MONTANGERO, 2007).

Para avaliar a importância do saneamento no gerenciamento de nutrientes nos fluxos urbanos, o objetivo deste trabalho foi quantificar, através de uma AFM, a entrada e saída de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) as residências do Estado da Bahia.

AVALIAÇÃO DO FLUXO DE MASSA

A AFM é um método quantitativo que busca descrever, investigar e avaliar o metabolismo de sistemas antropogênicos, sendo utilizado por vários pesquisadores para possibilitar uma melhor compreensão do fluxo de nutrientes dentro do espaço urbano (CORDELL; DRANGERT; WHITE, 2009; VAN DIJK; LESSCHEN; OENEMA, 2016).

O processo consiste em cinco etapas (BRUNNER; HELMUT, 2011): (i) definição do problema e dos objetivos da análise; (ii) definição dos processos, materiais e as fronteiras do sistema; (iii) determinação dos estoques e fluxos de massa, e a concentração de substâncias nos fluxos; (iv) cálculo dos estoques e fluxos de substâncias, consideradas as incertezas dos dados, e; (v) apresentação de resultados a fim de visualizar as conclusões e facilitar a implementação de soluções.

MATERIAIS E MÉTODOS

A análise do fluxo urbano de nutrientes para este trabalho limitou-se apenas às residências do Estado da Bahia, com coleta de dados considerando o ano-base de 2010. A descrição para o cálculo dos fluxos será descrita na próxima seção.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O modelo utilizado para a estimativa dos fluxos de N, P e K em uma residência pode ser visto na Figura 1. Os principais fluxos de entrada de materiais foram os alimentos (F_{ali}) e detergentes (F_{sd}) (este último considerado apenas para o cálculo do fluxo de fósforo). Os principais fluxos de saída incluíram a urina (F_{ur}), fezes (F_{fez}), água cinza (F_{ac}) e os resíduos sólidos orgânicos (F_{rso}).

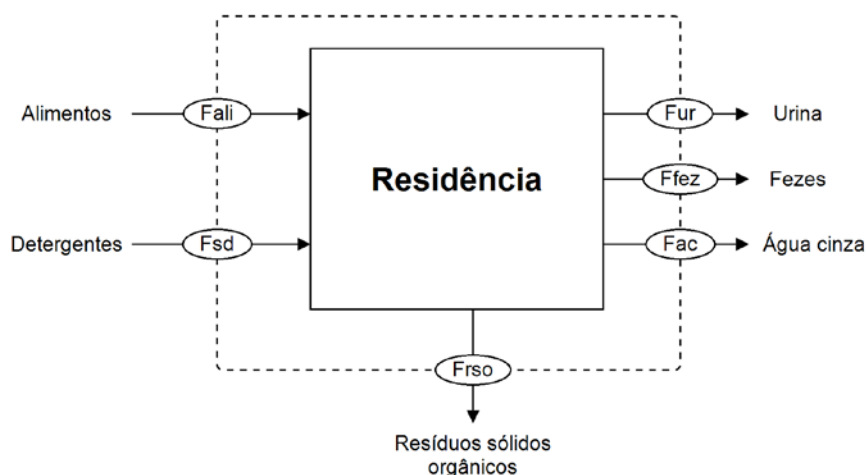


Figura 1: Diagrama do sistema residencial para fluxo de nutrientes

Assumindo que a formação de estoques no sistema residencial pode ser considerada desprezível, com produtos e alimentos sendo comprados e consumidos em períodos inferiores a um ano, o balanço de nutrientes pôde ser descrito pela Equação 1.

$$F_{ali} + F_{sd} = F_{ur} + F_{fez} + F_{ac} + F_{rso} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

F_{ali} é o fluxo de nutrientes contidos nos alimentos, F_{sd} é o fluxo de nutrientes contidos nos sabões e detergentes, F_{ur} é o fluxo dos nutrientes contidos na urina, F_{ac} é o fluxo dos nutrientes contidos na água cinza, F_{am} é o fluxo dos nutrientes contidos nas fezes e, por fim, F_{rso} representa o fluxo dos nutrientes contidos nos resíduos sólidos orgânicos, todos em Gg/a.

A concentração de N, P e K nos alimentos foi obtida através da “Tabela de Composição Nutricional dos Alimentos Consumidos no Brasil” (IBGE, 2011a) e da “Tabela Brasileira de Composição de Alimentos” (NEPA, 2011). O cálculo da quantidade de N dos alimentos foi realizado com base na concentração de proteína, dividindo os valores por fatores de conversão Proteína/Nitrogênio recomendados por Jones (1941).

O consumo per capita de alimentos para o estado da Bahia foi estimado com base nos dados de consumo diário para a região Nordeste apresentados pela “Pesquisa de Orçamentos Familiares” (IBGE, 2011b). Utilizando os dados da quantidade de alimentos consumidos, e a concentração de N, P e K dos alimentos (dados podem ser vistos no Anexo 1), os fluxos dos nutrientes foram calculados através da Equação 2.

$$F_{ali} = P \times (S \times Q_{ali} \times C_{nali}) \times fc \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

P é a população do estado da Bahia para o ano de 2010 (IBGE, 2010; 14 016 908 hab); Q_{ali} é a quantidade de alimentos consumidos por pessoa, em kg.pessoa⁻¹.dia⁻¹; C_{nali} é a concentração de N, P ou K presentes nos alimentos, em g.kg⁻¹; e fc é um fator de correção de acordo com a estrutura de idade da população assumindo que habitantes com idades inferiores a 10 anos e acima de 60 anos consomem diariamente a metade dos alimentos do restante da população (fc=0,87).

A Tabela 1 contém os fluxos de N, P e K médio per capita para os principais grupos de alimentos no Estado da Bahia, desconsiderando o fator de correção fc.

Tabela 1: Fluxo residencial de nutrientes presentes nos alimentos.

Grupo de alimentos	N	P	K
		g.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹	
Cereais e leguminosas	896,3	70,8	271,7
Hortaliças	7,0	1,0	8,1
Frutas	30,6	3,6	50,1
Cocos, castanhas e nozes	3,7	0,6	0,7
Farinhas, féculas e massas	145,5	10,8	21,5
Panificados	339,6	30,5	41,8
Carnes	942,0	45,2	74,4
Vísceras	31,3	2,7	3,1
Pescados	491,1	37,0	43,8
Aves e ovos	690,8	33,4	36,5
Laticínios	191,8	30,3	40,2
Açúcares, doces e produtos de confeitaria	41,5	10,6	17,7
Bebidas e infusões	39,2	8,7	45,5
Alimentos preparados e misturas industriais	168,5	14,5	26,6
Total	4 019,0	300,0	681,9

Para estimar a concentração de fósforo nos detergentes, foram utilizados dados de pesquisa realizados no Brasil para o período de estudo. Silva et al. (2010) analisaram quatro amostras de detergente em pó adquirida em Recife e encontraram valores de concentração de P na faixa entre 0,87 e 3,57% em peso. Souza et al. (2010)

analisaram uma amostra de detergente nacional para comparação com teores de P em detergentes importados, encontrando valores de concentração de P da ordem de 0,21% em peso. Para fins de cálculo, este trabalho considerou uma concentração de fósforo de 2% em peso, ou 20 g P·kg⁻¹.

O consumo de detergentes para o local de estudo foi estimado com base em dados de consumo nacional para o ano de 2010, encontrados no anuário da Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins (ABIPLA, 2011). Os dados utilizados podem ser vistos na Tabela 2, sendo utilizados para o cálculo de fluxo do fósforo de acordo com a Equação 3.

$$F_{sd} = P \times Q_{sd} \times C_{nsd} \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

P é a população do estado da Bahia para o ano de 2010 (IBGE) (14 016 908 hab); Q_{sd} é a quantidade de detergentes consumidos por pessoa, em kg·pessoa⁻¹·dia⁻¹; C_{nsd} é a concentração de P presente nos detergentes, em g·kg⁻¹ (assume-se a concentração de N e K como desprezível).

Tabela 2: Fluxo residencial de P presente nos detergentes.

Produto	Consumo per capita ⁽¹⁾ kg.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹	Concentração de P g.kg ⁻¹	Fluxo de P g.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹
Detergente em pó	4,47	20	89,4

(1)Dados da ABIPLA (2011)

A concentração de nutrientes na urina e nas fezes foram extraídas de Rose et al. (2015), em um estudo que apresenta uma revisão bibliográfica detalhada e uma análise estatística para a caracterização de fezes e urina em mais de 95 trabalhos conduzidos ao redor do mundo.

Considerando os limites estabelecidos para este trabalho, admitiu-se que apenas 60% do total de nutrientes da urina e 80% do total de nutrientes das fezes saem efetivamente das residências, como forma de contabilizar as excreções não ocorrem no domicílio.

A taxa de geração per capita de urina foi estimada com base nos estudos de Bazzarella et al. (2005) e Zanchetta (2007), para a cidade de Vitória-ES. Admitiu-se uma geração diária per capita de 1,25 L de urina. A taxa de geração de fezes foi admitida como a média encontrada em Rose et al. (2015). Para o cálculo dos fluxos foram utilizadas as Equações 4 e 5. Os dados utilizados podem ser vistos no Anexo 1.

$$F_{ur} = 0,6 \times P \times Q_{ur} \times C_{nur} \times fc \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Q_{ur} é a taxa diária de produção de urina, em L·pessoa⁻¹·dia⁻¹; C_{nur} é a concentração de N, P e K presentes na urina, em g·L⁻¹; e fc é o fator de correção de acordo com a idade da população (fc=0,87).

$$F_{fez} = 0,8 \times P \times Q_{fez} \times C_{nfez} \times fc \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

Q_{fez} é a taxa diária de produção de fezes em peso seco, em kg·pessoa⁻¹·dia⁻¹; C_{nfez} é a concentração de N, P e K presentes nas fezes, em g·kg⁻¹; e fc é o fator de correção de acordo com a idade da população (fc=0,87).

Dados calculados para o fluxo de P nas excretas podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Fluxo residencial de nutrientes presentes nas excretas

Fluxo do saneamento	N	P g.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹	K
Urina	1 686	416	416
Fezes	457	125	206

Para o cálculo dos fluxos de nutrientes da água cinza, a concentração de nutrientes foi extraída de Edwin et al. (2014), em estudo que avaliou 32 amostras em diferentes residências na Índia. A quantidade de água cinza produzida em residências do Estado da Bahia foi estimada através dos estudos de Cohim et al. (2009) e Botelho (2015), que avaliaram o consumo de água em residências localizadas em Salvador-BA. O valor adotado foi o resultado da média entre os dois estudos, de 70 L·pessoa⁻¹·dia⁻¹. Os dados de quantidade gerada e concentração de nutrientes pode ser visto no Anexo 1. O cálculo dos fluxos de nutrientes na água cinza foi realizado através da Equação 6. Dados preliminares para o fluxo per capita de nutrientes para a água cinza podem ser vistos na Tabela 4.

$$F_{ac} = P \times Q_{ac} \times C_{nac} \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

Q_{ac} é a taxa diária de produção de água cinza, em L·pessoa⁻¹·dia⁻¹; e C_{ac} é a concentração de N, P e K presentes na água cinza, em g·L⁻¹.

Tabela 4: Fluxo residencial de nutrientes presentes na água cinza

Fluxo do saneamento	N	P g.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹	K
Água cinza	511	511	255,5

Os teores de N, P, K para os resíduos sólidos orgânicos foram extraídos de Wendland (2008). A taxa de geração per capita foi estimada com base nos dados de geração de resíduos sólidos urbanos para a região Nordeste presentes no “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2010), e na composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil encontrada no “Plano Nacional de Resíduos Sólidos” (BRASIL, 2011). Os dados utilizados podem ser vistos no Anexo 1, com fluxo de nutrientes calculados a partir da Equação 7. A Tabela 5 apresenta os fluxos per capita para os resíduos sólidos orgânicos.

$$F_{rso} = P \times Q_{rsu} \times \%rs \times C_{nrs} \times 365 \text{ (Gg/ano)} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

Q_{rsu} é a taxa diária de produção de resíduo sólido urbano, em kg·pessoa⁻¹·dia⁻¹; %rs é a porcentagem de resíduo sólido orgânico; e C_{nrs} é a concentração de N, P e K presentes no resíduo sólido orgânico, em g·kg⁻¹.

Tabela 5: Fluxo residencial de nutrientes presentes no resíduo sólido orgânico

Fluxo do saneamento	N	P g.pessoa ⁻¹ .ano ⁻¹	K
Resíduos sólidos orgânicos	319	32	108

RECONCILIAÇÃO DE DADOS

Para o fechamento do balanço dos nutrientes foi necessário aplicar o método de reconciliação de dados, com base na qualidade da informação coletada na literatura.

Para avaliação das incertezas relacionadas aos fluxos, adotou-se a técnica proposta por Martins et al. (2010), que utiliza o conceito de qualidade de informação (QI). A Equação 8 representa a função objetivo a ser adotada, com a restrição de que o somatório dos fluxos de entrada e saída teria que ser igual a zero.

$$\min\{f(q_{mi}, q_{ri}) = S[(q_{mi} - q_{ri})^2 \cdot (QI_i^2 / q_{mi}^2)]\} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde: q_r é o valor do fluxo de massa reconciliado; q_m é o valor do fluxo de massa mapeado; QI é a qualidade de informação do valor do fluxo mapeado; e o i se refere às correntes.

De acordo com Martins et al. (2010), o valor máximo de QI (10,0) é dado à fonte de informação mais confiável, como a que possui um medidor calibrado periodicamente, dados de uma simulação numérica validada ou quando as informações são obtidas de um relatório técnico-operacional confiável. O valor mínimo de QI

(0,4), por sua vez, é dado aos fluxos com informações enganosas, baseadas na opinião de um operador, ou obtidas sem um medidor calibrado. O valor intermediário (6,0) é atribuído aos casos com informações precárias a respeito das correntes, como quando são obtidas a partir de um medidor com calibração duvidosa.

Foram utilizados valores de QI de 10 para os fluxos referentes aos alimentos, e 6 para os demais fluxos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a população do Estado da Bahia para o ano 2010, bem como informações de entrada e saída de nutrientes em uma residência, o balanço de N, P e K resultante após a reconciliação de dados pode ser visto na Figura 2.

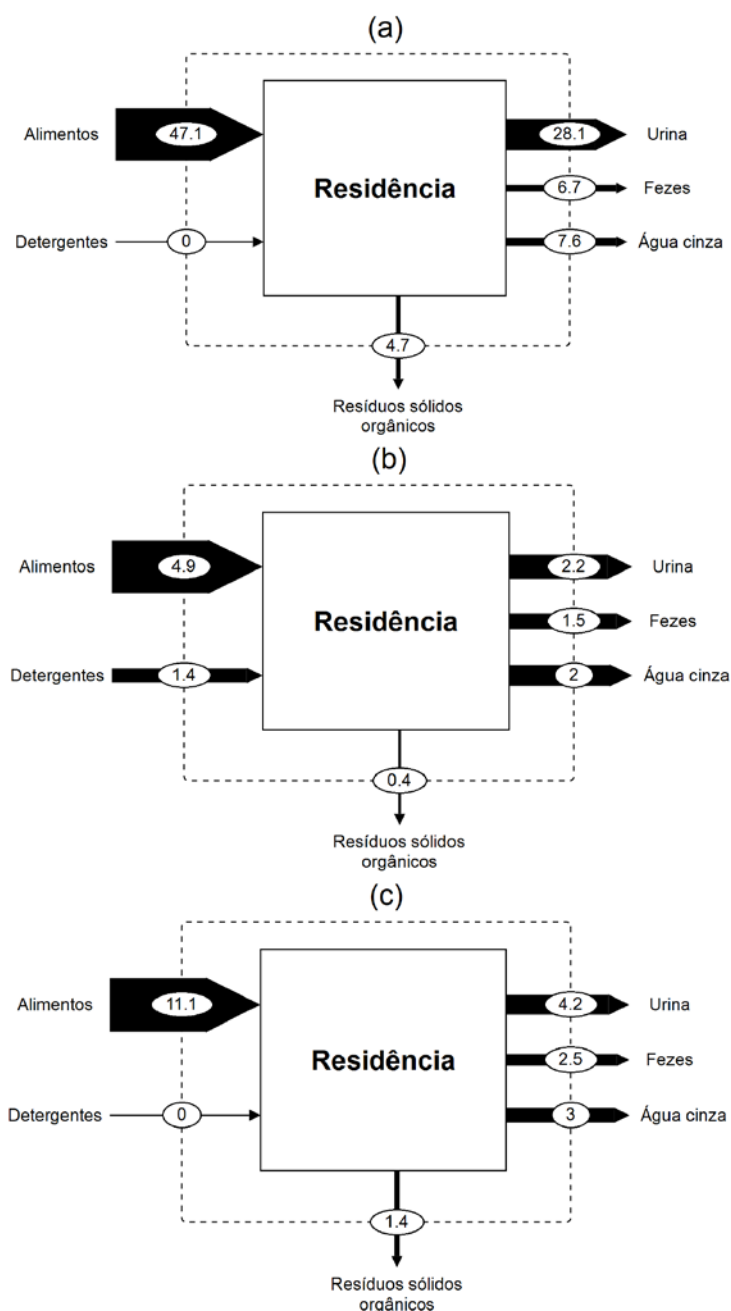


Figura 2: Diagrama de fluxos residenciais de N (a), P (b) e K (c) em Gg/a para o Estado da Bahia (ano-base: 2010).

Segundo os resultados, para o ano de estudo, aproximadamente 47,1 Gg de N, 6,3 Gg de P, e 11,1 Gg de K entraram nas residências do Estado da Bahia, com saída principal através das correntes do saneamento (urina, fezes e água cinza).

Esses números evidenciam a grande contribuição dos sistemas de saneamento para o desperdício desses recursos. Convertendo os valores encontrados de nutrientes para N, P₂O₅ e K₂O, e com base em dados de consumo de fertilizantes para culturas comuns do sertão baiano (Tabela 6), o fluxo residencial de nutrientes seria suficiente para a fertilização de aproximadamente 390 000 hectares de milho, ou 240 000 hectares de feijão ou mandioca por ano.

Tabela 6: Consumo de fertilizantes para culturas comuns do sertão baiano

Cultura	N	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹ .ciclo ⁻¹	K ₂ O
Milho ⁽¹⁾	120	23	25
Feijão ⁽²⁾	20	60	30
Mandioca ⁽³⁾	30	60	40

⁽¹⁾ FAO (2004); Martins et al. (2015)

⁽²⁾ Manos et al. (2013)

⁽³⁾ Souza et al. (2009)

O reaproveitamento total desses fluxos nos solos agrícolas também possibilitaria uma economia de energia relacionada à não-produção de fertilizantes químicos. Com base em indicadores de demanda energética primária necessária para produção de fertilizantes citados por Harvey (2010), aproximadamente 1,4 TWh de energia primária seriam economizados por ano com a substituição de adubos industriais por resíduos residenciais. Esse valor é o dobro da energia elétrica consumida pelos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário para o Estado da Bahia em um ano (0,64 TWh) (BRASIL, 2010).

Dentre as correntes de saída, a urina, em especial, se mostrou como uma fonte promissora de nutrientes, contribuindo com 60% do N, 35% do P e 38% do K que saem da residência.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi quantificar o fluxo residencial de N, P e K para o Estado da Bahia, e avaliar a importância do saneamento para a gestão de nutrientes.

Os resultados indicaram que as correntes do saneamento (urina, fezes e água cinza) representam os maiores fluxos de saída de nutrientes. Dentre as correntes, a urina é o maior fluxo de saída de N, P e K.

O redirecionamento desses fluxos para uso em sistemas agrícolas teria grande impacto no que se refere aonexo água-energia-alimento, evitando contaminação de sistemas hídricos, reduzindo custos energéticos ligados às operações de tratamento avançado de esgoto bem como da produção de fertilizantes químicos, além de garantir maior produtividade agrícola com menor déficit de nutrientes no solo.

A implantação de sanitários separadores de urina ou mictórios secos para coleta e armazenamento de urina pode ser uma opção viável, principalmente em prédios públicos como escolas e universidades, para tratamento e aplicação na própria região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDA. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Principais_Indicadores_2018.pdf>.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2010**. São Paulo. Disponível em: <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/Panorama2010.pdf>.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE LIMPEZA E AFINS (ABIPLA). **Anuário 2011**. São

- Paulo. Disponível em: <<http://www.apren.pt/fotos/editor2/anuario2011.pdf>>.
4. BAZZARELLA, B. B. et al. Caracterização quali-quantitativa da urina humana com vistas ao aproveitamento agrícola. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande
 5. BOTELHO, Gabriella Laura Peixoto. Avaliação do consumo de água em domicílios: fatores intervenientes e metodologia para setorização dos usos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], v. 3, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/15094>>
 6. BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2008**. Brasília.
 7. BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Lei no 12.305/2010). **Brasília: Diário Oficial da União**, [s. l.], p. 103, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf%0Awww.plano%20nacional%20de%20residuos%20solidos%202010/2010/lei/12305.htm>
 8. BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016**. Brasília. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ag-2016>>.
 9. BRUNNER, Paul H.; HELMUT, Rechberger. **Practical Handbook of Material Flow Analysis**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781856178099100039>>
 10. COHIM, Eduardo et al. Consumo de água em residências de baixa renda - Estudo de caso. In: 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2009, **Anais...** : Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.
 11. CORDELL, Dana; DRANGERT, Jan Olof; WHITE, Stuart. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 292–305, 2009.
 12. DODDS, Walter; SMITH, Val. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. **Inland Waters**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 155–164, 2016. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.5268/IW-6.2.909>>
 13. EDWIN, Golda A.; GOPALSAMY, Poyyamoli; MUTHU, Nandhivarman. Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. **Applied Water Science**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 39–49, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13201-013-0128-8>>
 14. FAO. **Fertilizer use by crop in Brazil**. Rome: Food and Agriculture Organization, 2004.
 15. HARVEY, Danny. **Energy and the New Reality 1: Energy Efficiency and the Demand for Energy Services**. 1. ed. Londres: Routledge, 2010.
 16. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010**, 2010.
 17. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabela de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009**. Rio de Janeiro.
 18. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009**. Rio de Janeiro.
 19. JONES, D. B. **Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of protein**. Washington D.C.
 20. LAZAROVA, V.; CHOO, K. H.; CORNEL, P. **Water-energy interactions in water reuse**. [s.l.] : IWA publishing, 2012.
 21. MANOS, Maria Geovania Lima; OLIVEIRA, Márcia Gonzada de Castro; MARTINS, Carlos Roberto. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na região Nordeste Brasileira 2013-2014 Documentos 181**. Aracajú. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2013/doc_181.pdf>.
 22. MARTINS, Márcio A. F. et al. New objective function for data reconciliation in water balance from industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 18, n. 12, p. 1184–1189, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.014>>
 23. MARTINS, Márcio R. et al. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 151, p. 75–81, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.03.004>>
 24. MONTANGERO, Agnes. Material Flow Analysis A tool to assess material flows for environmental sanitation in developing countries. [s. l.], p. 53, 2007.

25. NEPA - UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Campinas.
26. ROCKSTRÖM, Johan et al. Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 14, n. 2, 2009.
27. ROSE, C. et al. The characterization of feces and urine: A review of the literature to inform advanced treatment technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 45, n. 17, p. 1827–1879, 2015.
28. SILVA, Fabíola Soraia Vital Campos Barbosa et al. Utilização de planejamento fatorial no preparo de amostras de detergente em pó para a determinação de fósforo por análise em fluxo. **Química Nova**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 1199–1203, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000500035&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>
29. SOUZA, A. C. S.; CARDOSO, C. E.; FRAGUAS NETO, M. R. Determinação da concentração de fosfato em amostras de detergentes em pó utilizando detecção titulométrica. **Revista Eletrônica TECCEN**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 19–28, 2010. Disponível em: <<http://editora.universidadedevassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/viewFile/258/206>>
30. SOUZA, L. S.; SILVA, J.; SOUZA, L. D. **Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca**. Cruz das Almas.
31. STEFFEN, Will et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, [s. l.], v. 347, n. 6223, 2015.
32. VAN DIJK, Kimo C.; LESSCHEN, Jan Peter; OENEMA, Oene. Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 542, p. 1078–1093, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.048>>
33. WENDLAND, Claudia. **Anaerobic Digestion of Blackwater and Kitchen Refuse**. 2008. Universidade de Tecnologia de Hamburgo, [s. l.], 2008.
34. WERNER, C. et al. Ecological sanitation: Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. **Desalination**, [s. l.], v. 248, n. 1–3, p. 392–401, 2009.
35. ZANCHETTA, P. G. **Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola**. 2007. Universidade Federal do Espírito Santo, [s. l.], 2007.

ANEXO 1. DADOS COLETADOS

Tabela 7: Dados referentes ao fluxo de alimentos.

Alimentos	Consumo ⁽¹⁾	N*	Concentração ⁽²⁾	
	g.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹		P g.kg ⁻¹	K
Arroz	142,6	4,2	0,2	0,1
Arroz integral	9,8	4,3	1,0	0,7
Preparações à base de arroz	1,4	6,4	1,0	1,5
Milho e preparações	50,9	5,3	0,8	2,1
Feijão	152	9,3	0,7	3,4
Feijão verde/corda	22	5,1	0,5	4,2
Preparações à base de feijão	17,9	17,8	1,4	3,3
Outras leguminosas	2	4,8	0,5	1,5
Alface	0,6	2,2	0,3	1,9
Couve	2,2	3,4	0,3	1,2
Repolho	0,1	2	0,3	2,0
Salada crua	8,8	1,4	0,2	2,4
Outras verduras	0,4	1,9	0,3	2,0
Abóbora	2,3	1,2	0,3	2,3
Cenoura	0,2	1,2	0,3	2,3
Chuchu	0,2	1	0,3	1,7
Pepino	0,1	1	0,2	1,5
Tomate	3,3	1,4	0,2	2,4
Outros legumes	1,1	1	0,3	1,5
Batata-doce	5,9	2,2	0,3	2,3
Batata-inglesa	4	2,7	0,4	3,3
Batata-inglesa frita	0,1	4,6	0,7	5,5
Mandioca	7	1	0,2	1,0
Outros tubérculos	2,5	1	0,2	1,0
Abacaxi	1,9	0,9	0,1	1,2
Açaí	1,1	5,8	0,6	0,0
Banana	18,7	1,7	0,2	3,6
Laranja	16,6	1,5	0,1	1,8
Maçã	6,5	0,4	0,1	1,1
Mamão	5	1	0,1	2,6
Manga	9	0,8	0,1	1,6
Melancia	5,4	1	0,1	1,1
Tangerina	1,1	1,3	0,2	1,7
Uva	0,9	1,2	0,2	1,9
Salada de frutas	1,5	1	0,1	1,5
Outras frutas	8,3	0,8	0,1	1,5
Oleaginosas	0,4	28,9	4,9	5,7
Farinha de mandioca	11,5	2,6	0,4	3,4
Farofa	2,3	3,4	0,5	2,0
Cereais matinais	0,4	7,5	0,4	0,5
Massas	2,7	17,4	1,7	1,4
Macarrão instantâneo	4	9,7	1,0	1,3
Macarrão e preparações à base de macarrão	33,4	9,9	0,6	0,4
Pão de sal	56,1	12,8	1,0	1,4
Pão integral	0,6	20,7	2,0	2,5
Bolos	10,5	7	1,2	1,4
Biscoito doce	4,6	13	1,7	1,4
Biscoito salgado	8,8	16,2	1,5	1,8
Biscoito recheado	5,9	10,2	1,4	2,3
Pães, bolos e biscoitos diet /light	0,2	14,6	0,1	1,2
Carne bovina	57,1	38,8	2,0	3,4
Preparações à base de carne bovina	1,1	38,8	2,0	3,4
Carne suína	4,7	40,5	2,6	3,4
Aves	41,7	43,7	1,8	2,2

Preparações à base de aves	0,5	43,7	1,8	2,2
Peixes frescos e preparações	35,1	38,7	2,9	3,4
Peixes em conserva	0,6	39,4	4,9	4,0
Peixes salgados	3,8	38,7	2,9	3,4
Outros pescados	0,6	32	2,0	3,0
Carnes salgadas	7,7	43	0,8	0,9
Outros tipos de carne	2	38,8	1,9	3,0
Linguiça	1,6	22,1	1,1	1,9
Salsicha	1,6	15,6	0,8	1,1
Mortadela	1,2	17,8	1,0	2,0
Presunto	0,4	32,8	2,4	3,6
Outras carnes processadas	0,4	42,6	1,9	3,0
Vísceras	4,4	22,4	2,0	2,2
Ovos	16,5	20,1	1,7	1,3
Leite integral	33,7	5	0,9	1,4
Leite desnatado	2,5	5,3	1,0	1,6
Leite em pó integral	0,7	40,4	7,3	11,4
Preparações à base de leite	7,8	5,4	0,9	1,4
Vitaminas	16,5	3,9	0,7	1,8
Queijos	5,8	40,7	5,1	1,7
Iogurtes	8,6	5,4	1,0	1,6
Outros laticínios	0,4	3,9	0,8	1,3
Laticínios diet/light	0,4	5	1,2	1,9
Chocolates	2,2	12,2	2,1	3,7
Achocolatados	0,3	7,3	1,3	8,4
Doces à base de leite	5,4	12,6	2,5	3,7
Doces à base de fruta	2,8	1,2	0,1	1,3
Sorvete/picolé	4,3	5,8	1,0	1,9
Mel/rapadura/açúcar de mesa e outros adoçantes	1,2	0,5	0,0	0,5
Outros doces	9,3	0,5	1,1	1,3
Doces diet /light	0,3	0,5	1,1	1,4
Óleos e gorduras	5,9	0	0,0	0,0
Óleos e gorduras diet /light	0,1	0	0,0	0,0
Bebidas destiladas	1,9	0	0,0	0,0
Cerveja	25,4	0,7	0,1	0,3
Vinho	0,3	0,1	0,2	1,3
Sucos/refrescos/sucos em pó reconstituídos	134,7	0	0,0	0,0
Refrigerantes	59,4	0,1	0,1	0,0
Refrigerantes diet /light	1,2	0,2	0,1	0,1
Bebidas lácteas com sabor e adoçadas	10,1	4,4	1,0	1,7
Bebidas à base de soja	0,4	5,9	0,7	1,3
Café	230,4	0,2	0,0	0,5
Chá	6,8	0	0,0	0,4
Outras bebidas não alcoólicas	3,9	1,6	0,0	0,4
Pizzas	2,3	23,4	2,6	1,8
Salgados fritos e assados	6,1	21,5	1,5	2,1
Salgadinhos industrializados	0,6	21,5	1,5	2,1
Sanduíches	6,3	26,1	2,5	2,4
Sopas e caldos	60,1	2,6	0,2	0,6
Molhos e condimentos	0	0	0,3	3,8
Preparações mistas	4,2	2,9	0,3	3,8

Fonte: ⁽¹⁾IBGE (2011b); ⁽²⁾IBGE (2011a)

Tabela 8: Dados referentes ao fluxo de excretas.

Fluxo de esgoto	Taxa de geração em massa	N	Concentração	
	seca g.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹		P g.kg ⁻¹	K
Urina	59	150	37	37
Fezes	29	62	17	28

Fonte: Rose et al. (2015)

Tabela 9: Dados referentes ao fluxo de água cinza.

Fluxo do saneamento	Taxa de geração		N	Concentração	
	Cohim et al. (2009)	Botelho (2013)		P g.L ⁻¹	K
Água cinza	66,5	71,9	0,02	0,02	0,01

Fonte: Edwin et al. (2014)

Tabela 10: Dados referentes ao fluxo de resíduo sólido orgânico.

Fluxo do saneamento	Taxa de geração de resíduo sólido orgânico	Teor de umidade	N	Concentração*	
	kg/pessoa/dia	-		P g/kg	K
Resíduo sólido orgânico	0,66	75%	5,3	0,53	1,8

Fonte: ABRELPE (2010); Brasil (2011); Wendland (2008)