



III-036 – DESIDRATAÇÃO DA URINA HUMANA UTILIZANDO ALTAS TEMPERATURAS

Thales Felício de Oliveira Santos⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Nayara Vilela Avelar

Engenheira Ambiental pela UFV. Mestre em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela UFV. Doutoranda em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela UFV.

Larissa Quartaroli

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestre em Ciências Florestais pela UNICENTRO. Doutoranda em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela UFV.

Ana Augusta Passos Rezende

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre em Engenharia pela Universidade de Toronto, Canadá. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Endereço⁽¹⁾: Rua Gomes Barbosa, 466 – Centro – Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 98864-2811 - e-mail: thalesfos@gmail.com.

RESUMO

Atualmente, diversas cidades vivenciam a crise hídrica. Esta crise tem afetado não só a disponibilidade de água como também a qualidade do seu abastecimento. Técnicas e metodologias que visam à preservação da qualidade da água bem como a redução de seu consumo surgem como uma necessidade em momentos como esses. Inserida nessa tendência, o uso de sanitários sem veiculação hídrica e a reutilização da urina como fertilizante agrícola tornam-se uma alternativa interessante e viável. A urina como fertilizante, promove a recuperação e a ciclagem de nutrientes e, consequentemente, a diminuição da eutrofização de corpos receptores. No entanto, para que a urina possa ser reutilizada, é de extrema importância a sua segregação no vaso sanitário. A segregação da urina no vaso sanitário envolve não só adequação das redes de coleta como também o entendimento de sua composição, que varia de indivíduo para indivíduo, principalmente em função da faixa etária, dieta, fatores genéticos e quantidade de água ingerida diariamente. A caracterização da urina é importante no estudo de viabilidade de sua utilização, sendo também de extrema importância pesquisas a respeito das técnicas de estocagem. Os estudos realizados nesse trabalho têm como objetivo conhecer e caracterizar a composição da urina utilizando metodologia específica de desidratação por meio de altas temperaturas (através da utilização de micro-ondas), aliada à especificação da metodologia aplicada.

PALAVRAS-CHAVE: Reutilização da urina humana, segregação de urina, desidratação da urina, recuperação de nutrientes.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2014), somente 49,8% dos brasileiros possuem coleta de esgoto em suas casas e, apenas 40,8% recebem seu tratamento adequado. No Brasil e na grande parte dos outros países, a gestão do sistema de esgotamento sanitário se dá por meio de sistemas centralizados, em que as águas residuárias são coletadas e transportadas por longas distâncias e encaminhadas às grandes estações centralizadas de tratamento de efluentes, o que justifica os baixos níveis de acesso ao saneamento da população brasileira. Dessa forma, existe uma grande dificuldade em garantir a universalização dos serviços do modelo de saneamento tradicional.

Por outro lado, a segregação da urina humana do esgoto doméstico possibilita a reciclagem de nutrientes para fins agrícolas, o que acarreta na diminuição do uso de fertilizantes artificiais, que por sua vez, podem conter metais pesados e outros resíduos que podem ser prejudiciais à saúde. O reaproveitamento da urina pode ser realizado de diversas formas, dependendo da metodologia utilizada em sua estocagem.

Segundo Louro (2011), o aumento das descargas de nutrientes nos cursos d'água (nitrogênio, fósforo e outros) devido ao lançamento de esgotos sem tratamento, vem contribuindo para processos de eutrofização dos corpos hídricos, trazendo graves consequências tanto para a biota aquática, quanto para o abastecimento de água para usos domésticos e industriais. Sendo assim, uma grande vantagem de seu reuso é a redução da eutrofização dos corpos receptores.

O saneamento ecológico propõe a minimização da necessidade por recursos e redução da produção de resíduos despejados ao meio ambiente. O esgoto doméstico possui uma elevada carga de nutrientes (N, P e K), que por sua vez tem importância na produção agrícola, fechando o ciclo dos nutrientes. Entretanto, devido ao risco da presença de organismos patogênicos, é necessário o tratamento prévio para a higienização do recurso antes de sua utilização na agricultura. A segregação da urina, das fezes e das águas cinzas, é adotada na prática em projetos de saneamento ecológico, o que contribui para reduzir a poluição dos corpos receptores, minimizar o consumo da água necessária para dar descarga e transportar resíduos.

A urina humana é uma solução líquida e complexa, resultado de um processo de filtração do sangue e que contém concentração de diversos sais e nutrientes. O volume excretado diariamente também varia juntamente com fatores genéticos e quantidade de água ingerida, no entanto, sabe-se que o volume médio de urina de uma pessoa com dieta normal é 1,5 L/dia. O volume de urina excretado, bem como sua composição, pode variar de pessoa para pessoa, em função dos hábitos alimentares de cada indivíduo, da faixa etária, do sexo, quantidade de líquido ingerido diariamente e do metabolismo dos organismos. A urina é composta principalmente por cloreto de sódio (NaCl) e uréia [CO(NH₂)₂], além de potássio (K), cálcio (Ca), sulfatos (SO₄) e fósforo (P). O nitrogênio (N) está disponível na urina em sua maior parte na forma de uréia, o restante é encontrado na forma de nitrogênio orgânico e inorgânico.

O presente trabalho tem como objetivo testar a metodologia de desidratação da urina humana através de altas temperaturas utilizando um aparelho de micro-ondas convencional, assim como o estudo do tempo e potência ideal do micro-ondas para desidratar a urina, a quantificação da perda de nitrogênio e fósforo que ocorrem durante a desidratação e a avaliação da viabilidade de utilizar tal método. A presente pesquisa visa também analisar uma alternativa de aproveitamento da urina humana, associada à recuperação de seus nutrientes em altas temperaturas.

URINA HUMANA X FERTILIZANTES QUÍMICOS

De acordo com Oyama (2013), fertilizantes minerais são insumos que podem ser naturais ou sintéticos e que apresentam na sua composição, nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. São utilizados como fornecedores de nutrientes para o solo e cultivos agrícolas e têm a função de repor os elementos tirados do solo - durante o período de desenvolvimento das plantas. São basicamente gerados por meio da combinação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), elementos químicos presentes na composição da amônia e da rocha fosfática e potássica, extraídos diretamente da natureza ou liberados como subprodutos da extração de outros elementos minerais.

Conforme Cardinali *et al.* (2009), a urina, quando em seu estado sólido (estruvita), pode conter uma quantidade de nutrientes que segue uma proporção de 19:18:0,4 (NPK), na qual, cerca de 98% de fosfato e 21,9% de amônia da urina líquida podem ser recuperados em reação com o óxido de magnésio, a um pH em torno de 9,0.

Ao utilizar a urina humana como fertilizantes fecha-se o ciclo dos nutrientes. Dessa forma, é bastante viável a utilização da urina humana como fertilizante agrícola, com base em suas vantagens em relação aos fertilizantes químicos tradicionais.

SEGREGAÇÃO DA URINA

De acordo com Otterpohl (2001), a ideia da reutilização de recursos nos domicílios não é novidade, e sua adoção é crescente em todo o mundo, sendo destaque em diversos países, como Austrália, Estados Unidos e

Japão, e alguns novos métodos encontram-se em teste na Alemanha, Canadá, Reino Unido e Suécia. A separação das águas residuárias em escala residencial viabiliza soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos e rurais, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento, assim como potencialização do saneamento ecológico.

A segregação e retirada da urina deve ser realizada por meio de adaptações no sistema sanitário que possuam alguns equipamentos específicos, que permitam a sua coleta de modo segregado e seguro. Na Figura 1 estão exemplos de dispositivos existentes utilizados para realizar a segregação e coleta da urina.



Figura 1- Mictório feminino (esquerda), mictório masculino (centro) e vaso compartimentado (direita).
Fonte: adaptado de ZANCHETA (2007).

TRATAMENTO DA URINA: DESIDRATAÇÃO POR MEIO DE ALTAS TEMPERATURAS

Segundo Tanski (2003), a urina humana antes de ser excretada do trato urinário é totalmente estéril, no entanto, quando expelida para fora do corpo algumas bactérias são levadas junto com o líquido, perdendo então sua condição de esterilidade. Porém, isso não inviabiliza sua posterior utilização como fertilizante, apenas indica um tratamento preliminar ao seu reúso. Na Suécia, a metodologia adotada tem sido armazenar a urina durante um determinado período para que ocorra a eliminação dos microrganismos patogênicos, pois as taxas de sobrevivência destes não são elevadas, principalmente quando se encontram em ambientes com temperaturas elevadas.

A utilização da metodologia da desidratação através de altas temperaturas possui dois desafios principais, a grande perda de amônia devido à sua volatilização e o consumo de energia. O primeiro desafio pode ser evitado com o uso da acidificação e o segundo desafio pode ser superado utilizando a energia solar. Porém, na pesquisa feita utilizou-se a evaporação por meio de um aparelho de micro-ondas convencional, que tem vantagem devido ao tempo de evaporação que é relativamente baixo comparado aos outros métodos.

MATERIAIS E MÉTODOS

COLETA E DESIDRATAÇÃO DA URINA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Resíduos Sólidos da Indústria Florestal, Laboratório de Celulose e Papel e Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), sendo toda estrutura física da Universidade Federal de Viçosa.

As amostras de urina foram fornecidas por cinco moradores, de uma residência, que receberam orientação adequada para coleta e armazenamento do material. Para realização da coleta de urina foram distribuídas garrafas plásticas de 500 mL, previamente lavadas e acidificadas com ácido clorídrico (HCl). A cada ida ao banheiro, os recipientes eram entregues aos colaboradores do projeto, que transferiam as amostras coletadas

para um recipiente de vidro de 2000 mL, lavado e acidificado previamente, onde foram homogeneizadas, caracterizando uma amostra composta diária.

Após o término de cada coleta, as amostras foram acondicionadas e transportadas para o laboratório, onde foi realizada a desidratação das mesmas. Primeiramente, foi transferido um volume de 100 mL da urina estocada para um béquer de 1000 mL, a fim de evitar perda do material durante seu aquecimento. Em seguida, a amostra foi levada para aquecimento em equipamento micro-ondas doméstico por cerca de 8 ± 1 minutos na potência máxima de 1,2 kW, dependendo da amostra.

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Primeiramente foi feita a caracterização da urina fresca e, posteriormente, da urina desidratada, analisando os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012).

O pH é a medida da atividade iônica dos íons de hidrogênio e expressa a intensidade das condições ácidas e alcalinas. Foi utilizado o princípio da potenciometria na determinação do pH. Já a condutividade elétrica está relacionada com a presença de íons dissolvidos na amostra. Na análise, calculou-se o valor da constante da célula de condutividade, pela determinação da condutância de uma solução padrão de condutividade conhecida. Seguida as instruções do condutivímetro para a leitura da solução padrão, a célula de condutividade foi lavada com água destilada e seca com papel macio e absorvente, sempre que imerso em uma amostra diferente. Após a leitura a célula foi lavada com água destilada.

Quanto ao nitrogênio, de acordo com as reações da ureia, que é a principal fonte de nitrogênio da urina, ela sofre um processo de hidrólise catalisada pela enzima urease (ureia amidohidrolase), liberando amônia e bicarbonato. Estas reações elevam o pH devido à formação da amônia, o que explica o processo de volatilização da amônia e a formação dos cristais, pois a estruvita tem em sua composição amônia, magnésio e fosfato. Utilizou-se o princípio da titulometria para realizar a quantificação do nitrogênio total e amoniacal, usando o ácido sulfúrico como agente titulante.

O fósforo se encontra na urina humana predominantemente na forma de ortofosfatos (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}). Utilizou-se o princípio da colorimetria para a determinação do fósforo total. Como o fósforo pode ocorrer combinado com a matéria orgânica, fez-se necessária uma digestão ácida da amostra para que todas as formas de fósforo possam ser convertidas a ortofosfatos. A adição de molibdato de amônio em meio ácido promoveu a formação do complexo molibdofosfato que é então reduzido pela adição de cloreto estanoso, dando origem a colorido azul de molibdênio, que foi quantificado utilizando o espectrofotômetro a 690 nm.

Através das análises realizadas durante a pesquisa o peso residual das amostras de urina de 100 mL foi em média de 5,27 g. O tempo médio gasto para a secagem das amostras foi de 7 min e 55 seg., utilizando a potência máxima de 1,2 kW do micro-ondas. O micro-ondas utilizado durante a pesquisa é do modelo CMS25ABHA, e possui tensão de 127V e frequência de micro-ondas de 2450 MHz e potência de 1,2 KW.

RESULTADOS

Os resultados quantitativos das análises realizadas para a caracterização da urina estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização da urina fresca e da urina desidratada.

Parâmetro	Urina fresca*	Urina desidratada*
Condutividade Elétrica (mS/cm)	20,50 ± 2,3	36,49 ± 3,7
pH	6,2 ± 0,25	8,4 ± 0,35
NKT (mg/L)	6791,4 ± 697,4	2581,19 ± 394,3
Amônia (mg/L)	1301,92 ± 323,3	1902,13 ± 329,9
Fósforo (mg/L)	353,2 ± 12,3	98,2 ± 7,5

*Média de 4 repetições

O tempo médio gasto para a secagem das amostras foi de 7 min e 55 seg, utilizando a potência máxima de 1,2 kW do micro-ondas. Para tempos superiores ao citado, houve perda de material e liberação de odor característico. A Figura 3 mostra o estado da amostra após ultrapassar o limite de tempo.



Figura 3 – Estado da amostra ao ultrapassar o tempo limite.

O pH, quando determinado logo após sua excreção, é bem próximo de 6,0. Esse valor também foi encontrado por Lopes (2004) estudando a urina. COHIM et al (2007) encontrou valores de pH da urina variando entre 4,8 e 8,2. As amostras de urina apresentaram um aumento de pH de 6,2 para 8,4, após a desidratação, devido à decorrência do processo de hidrólise da -ureia, que libera amônia e bicarbonato.

A condutividade elétrica tem relação direta com a presença de íons dissolvidos na urina, apresentando um aumento de 20,50 mS/cm na urina fresca para 36,49 mS/cm na urina desidratada. Esse aumento está relacionado com a produção de NH_4^+ , íon formado em grande quantidade durante a desidratação da urina, devido ao processo de hidrólise da ureia.

STOWA (2001) apresenta uma concentração de Nitrogênio Total de 9600 mg/L. Já BUENO et al (2005) apresentam valores de 9178 mg/L de Nitrogênio Total para amostras de pequeno volume. O valor encontrado para o teor de nitrogênio total da urina fresca, foi entre 5987 e 7235 mg/L de NKT, que após a desidratação, foram reduzidos para 2246 a 3016 mg/L de NKT, enquanto o nitrogênio amoniacal, com concentração entre 970 e 1616 mg/L de NH_4^+ , aumentou os valores para faixa de 1560 a 2217 mg/L de NH_4^+ . Assim, como o nitrogênio total, o teor de fósforo na urina diminuiu de 353 mg/L de P para 98 mg/L de P após ser aquecida.

O nitrogênio na urina humana é encontrado principalmente na forma de ureia, que, durante a desidratação da urina, é hidrolisada por uma enzima específica (urease), produzindo amônio e bicarbonato. A liberação do bicarbonato eleva o pH da urina desidratada, tornando-a alcalina, contribuindo para a inativação de organismos patogênicos. O íon amônio (NH_4^+) entra em equilíbrio com a amônia (NH_3) dissolvida, que, por sua vez, entra em equilíbrio com a amônia gasosa, explicando, assim, a elevada perda do nitrogênio por volatilização.

Sendo assim, o aumento do pH acontece em decorrência da formação de bicarbonato durante a hidrólise da ureia. A condutividade elétrica possui relação direta com a presença de íons dissolvidos, principalmente o NH_4^+ . Como o amônio é formado durante a hidrólise da ureia, há uma elevação da condutividade elétrica após a desidratação da urina.

Na urina humana, o fósforo é encontrado principalmente na forma de ortofosfato (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}), cuja precipitação em pH alcalino explica a diminuição da concentração de fósforo após a desidratação da urina.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- A análise dos parâmetros pH, condutividade elétrica, nitrogênio e fósforo na urina é importante para avaliar o comportamento dos mesmos após a desidratação.
- A utilização de micro-ondas como única fonte de calor para evaporação da urina é uma alternativa interessante de concentração de nutrientes e redução do volume de urina estocada, facilitando seu manuseio.
- A coleta da urina no intuito de ser utilizada com fertilizante agrícola é importante que seja feita sua estocagem de forma a prevenir maus odores e perdas de nitrogênio para a atmosfera.
- A desidratação pode diminuir ou eliminar urina nas estações de tratamento, fazendo com que os níveis de carbono e nitrogênio fiquem praticamente balanceados.
- Os maiores benefícios obtidos com a realização dessa prática estão relacionados a aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.
- As hipóteses levantadas para uso da metodologia apresentada ainda precisa ser pesquisada sob o ponto de vista técnico e econômico, mas é claro que a recuperação dos nutrientes presentes na urina é uma opção viável para promover a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUENO, F. B. A.; SOUTO, G. D. B.; LOPES, A. C.; CESARI, C. E.; CAMPOS, J. R. Avaliação de Revista de Engenharia e Tecnologia ISSN 2176-7270 V. 2, No . 1, Dez/2010 Página 16 Técnicas para Tratamento da Urina Humana. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande – MS. 2005.
2. CARDINALI, C. R. et al. Estudo da precipitação da estruvita na urina humana visando sua utilização como um fertilizante natural. In: 49º Congresso Brasileiro de Química, 2009, Porto Alegre. **Anais...Química Ambiental**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2009. p. 1 – 3.
3. COHIM, E.; KIPERSTOK, A. C.; NASCIMENTO, F. R. Uso agrícola da urina: uma breve perspectiva. Eco-Saneamento para preservação da água e segurança alimentar. Universidade Federal da Bahia: Departamento de Engenharia Ambiental. Fortaleza; 2007.
4. LOURO, C. A. de L.; VOLSCHAN JUNIOR, I. Sustentabilidade ambiental: estudo sobre o aproveitamento de nutrientes da urina humana para redução dos impactos da indústria de fertilizantes e do lançamento de excretas e no ambiente. In: 7 Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2011. p. 1 - 15.
5. OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water**, 21. p. 37-41, out. 2001.
6. OYAMA, C. Nutrientes da urina humana como fertilizante agrícola: análise de viabilidade econômica sobre um modelo de produção baseado na Economia Solidária e na Agricultura Familiar. 228f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo. 2013.
7. RICE, E.W.; BAIRD, R. B.; EATON, A.D.; CLESCERI, L.S. (Eds.) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington: APHA- AWWA-WEF, 2012.
8. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2014. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>. Acesso em 25/03/2016.
9. STOWA. Separate urine collection and treatment. Options for sustainable wastewater systems and mineral recovery. STOWA report, 2001-39.
10. ZANCHETA, P. G. Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola. 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.