

## Resumo

O presente trabalho descreve as atividades do projeto piloto de reuso de água produzida para fins de irrigação de culturas destinadas à produção de biodiesel, que encontra-se em implantação no Campo de Fazenda Belém da Unidade de Produção do Rio Grande do Norte e Ceará. A partir desse projeto, pretende-se definir o nível de tratamento necessário para viabilização técnico-econômica do reuso de água produzida para irrigação de culturas oleaginosas para produção de biodiesel e paralelamente permitir aumento de produção de óleo desse Campo, atualmente limitado pela falta de destinação da água produzida excedente. O projeto foi estruturado de forma a avaliar possíveis impactos que a irrigação poderá provocar no solo e na água subterrânea, bem como estudar as várias etapas do desenvolvimento, produção e pós-colheita dos cultivos, com a irrigação de águas produzidas após tratamento.

Os resultados obtidos, até o momento, nas análises químicas, geoquímicas e hidroquímicas (elementos químicos e hidrocarbonetos), bem como os parâmetros relativos aos atributos de solo analisados após o primeiro e segundo ciclos de plantio, não indicaram potencial poluidor na área do experimento, seja no interior ou no entorno do perímetro de irrigação, pelo uso das águas produzidas tratadas. Como o experimento ainda encontra-se em andamento, apenas resultados preliminares foram gerados até o momento, relativos aos primeiros ciclos de plantio.

## Abstract

This paper describes a pilot project for produced water reuse with purpose of oilseeds irrigation for biodiesel production. This pioneer project is now in progress in the Fazenda Belem field at Production Unit of Rio Grande do Norte and Ceará. From this project, we intend to specify the level of treatment necessary to enable the produced water reuse for oilseeds irrigation, enabling the increase in oil production of this field, currently limited by the lack of destination of produced water excess.

The project was structured to evaluate possible impacts that irrigation may cause on soil, sub-soil and groundwater as well as study the various stages of development, production and post-crop of the cultures, after irrigation with treated produced water.

Results achieved until now in the chemical, geochemical and hydrochemical (hydrocarbons and chemical elements) analyzes, as well as parameters related to soil properties analyzed after the first and second planting cycle, indicated no pollution potential in the experimental area, either inside or nearby the irrigation perimeter, by the use of treated produced water. As the experiment is still in progress, only preliminary results have been generated so far, for the first cycles of planting.

## 1. Introdução

Campos de produção maduros produzem altos volumes de água e a destinação final dessa água é um fator limitante do aumento da produção de óleo na Companhia, principalmente para campos produtores terrestres. Neste contexto, o reuso da água produzida pode trazer vantagens significativas como o aumento da produção de óleo, a redução do consumo de água nos processos e a minimização do descarte da água produzida no meio ambiente, com consequente

redução tanto de impactos ambientais quanto de custos operacionais de transporte e tratamento, monitoramento e/ou recuperação de ecossistemas.

Atualmente, a Unidade de Produção do Rio Grande do Norte e Ceará, na região Nordeste do Brasil, tem sua produção limitada em alguns campos, por falta de destinação da água produzida. O envio desta água produzida para a Estação de Tratamento de Guamaré, por emissário, envolve riscos operacionais e está limitado à capacidade da ETE. Adicionalmente, a proximidade do reservatório em relação à Formação Jandaíra, importante aquífero para abastecimento da região, torna inviável a reinjeção dessa água.

Neste cenário, o uso dessa água para irrigação de oleaginosos para produção de biodiesel é uma possibilidade atrativa, principalmente considerando a boa qualidade da água produzida do reservatório desse Campo, a sua baixa salinidade e a escassez hídrica no Nordeste semiárido. No entanto, por se tratar de iniciativa pioneira, faz-se necessário um estudo e levantamento dos possíveis impactos no solo e água subterrânea, bem como possíveis efeitos no plantio de culturas controladas. Com esse objetivo, foi criado um projeto piloto de pesquisa para reuso de água produzida para irrigação nessa região. Este projeto piloto visa estudar a viabilidade de reuso de água produzida para fins de irrigação, no campo de Fazenda Belém (Ceará), pertencente ao ativo de produção de Mossoró-RN, de forma a avaliar no solo e na água subterrânea os efeitos da irrigação desta água na germinação, crescimento e produção de oleaginosas e também de flores ornamentais. O projeto prevê que a água produzida seja submetida a diversos tratamentos em uma Planta Piloto que inclui até processos avançados de filtração e dessalinização, para viabilizar seu reuso.

Este projeto, atualmente em andamento, visa principalmente determinar o nível de tratamento adequado para água produzida deste campo, de forma a compatibilizar custo de tratamento com qualidade requerida para irrigação. Para a Unidade de Produção, o uso agrícola pode representar uma alternativa para direcionamento da água produzida, a qual está limitando a produção de óleo desse Campo. Além disso, o projeto vai gerar conhecimento técnico e criar infraestrutura para dar suporte ao reuso por irrigação e permitir a ampliação futura da atividade no âmbito da Petrobras.

Para avaliação do impacto ambiental do experimento foram efetuadas parcerias com Instituições de excelência em áreas específicas. A avaliação dos efeitos da irrigação com água produzida no desenvolvimento e produção pós-colheita das culturas foi conduzido pela EMBRAPA TROPICAL enquanto o levantamento dos possíveis impactos no solo e na água subterrânea foi conduzido pelo Laboratório de Geoquímica Ambiental da UFRN.

Como importância deste projeto, destaca-se o pioneirismo deste estudo e seu alinhamento com as diretrizes socioambientais e de sustentabilidade da Companhia, notadamente em uma região onde uma possível disponibilidade adicional de recursos hídricos é grandemente desejável.

## 2. Descrição do tratamento da água produzida

No experimento de irrigação, foi utilizada água produzida gerada a partir de duas rotas de tratamento, fornecendo dois níveis de qualidade de tratamento: apenas filtrada e desmineralizada. Além dessas, foi utilizada como condição de referência a água do aquífero Açú, já que suas águas são de excelente qualidade, sendo por esse motivo um importante manancial para demandas urbanas, industriais e rurais na região.

As etapas de tratamento estão ilustradas na figura 1 para água produzida filtrada e desmineralizada. A rota de tratamento 1 fornece uma água de qualidade semelhante à água produzida original, com remoção apenas do material suspenso e óleo disperso. A rota de tratamento 2 fornece uma água de melhor qualidade, desmineralizada com remoção de compostos solúveis.

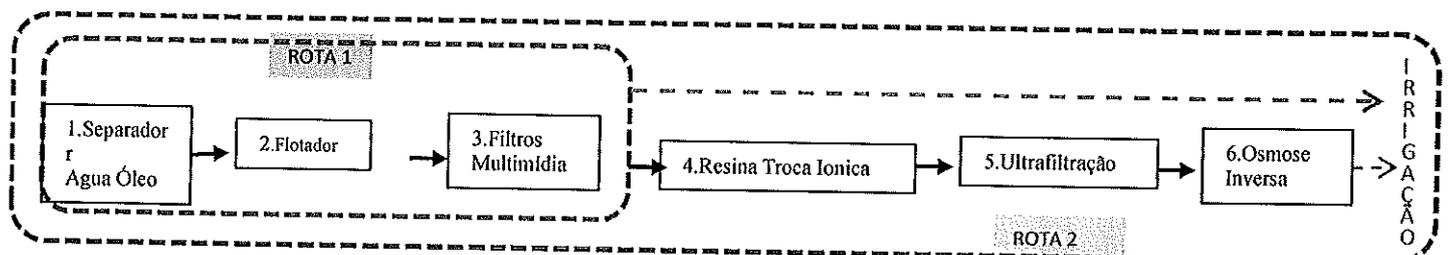


Figura 1 – Rotas de Tratamento. Rota 1 - Água Produzida Filtrada: apenas as etapas 1, 2 e 3. Rota 2 - Água Produzida Desmineralizada: todas as seis etapas.

A rota 1 é constituída por Separador água-óleo (SAO), Flotador e Filtro de areia, gerando água produzida filtrada, conforme ilustra fluxograma da figura 2.

Na rota 2, a água produzida, proveniente da rota 1, é direcionada para sistemas de resinas de troca iônica para remoção de dureza e subsequente dessalinização por processo de separação por membranas. A figura 3 ilustra as etapas que constituem esse processo, cujos componentes principais são bombas dosadoras de produtos químicos, torre de resfriamento, filtros cartucho e *bag*, ultrafiltração (UF) e osmose inversa (OI).

Foram utilizados nestes processos cerca de 150 m<sup>3</sup>/dia para produzir os dois tipos de água.

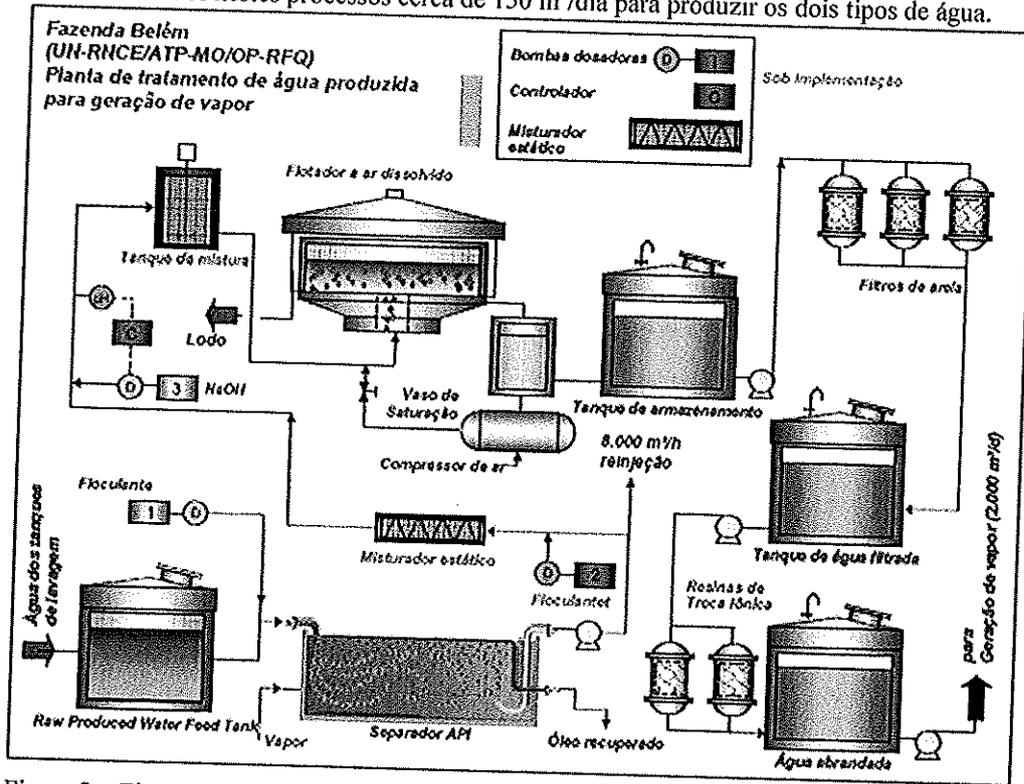


Figura 2 – Fluxograma das etapas do processo da rota 1 – água produzida filtrada.

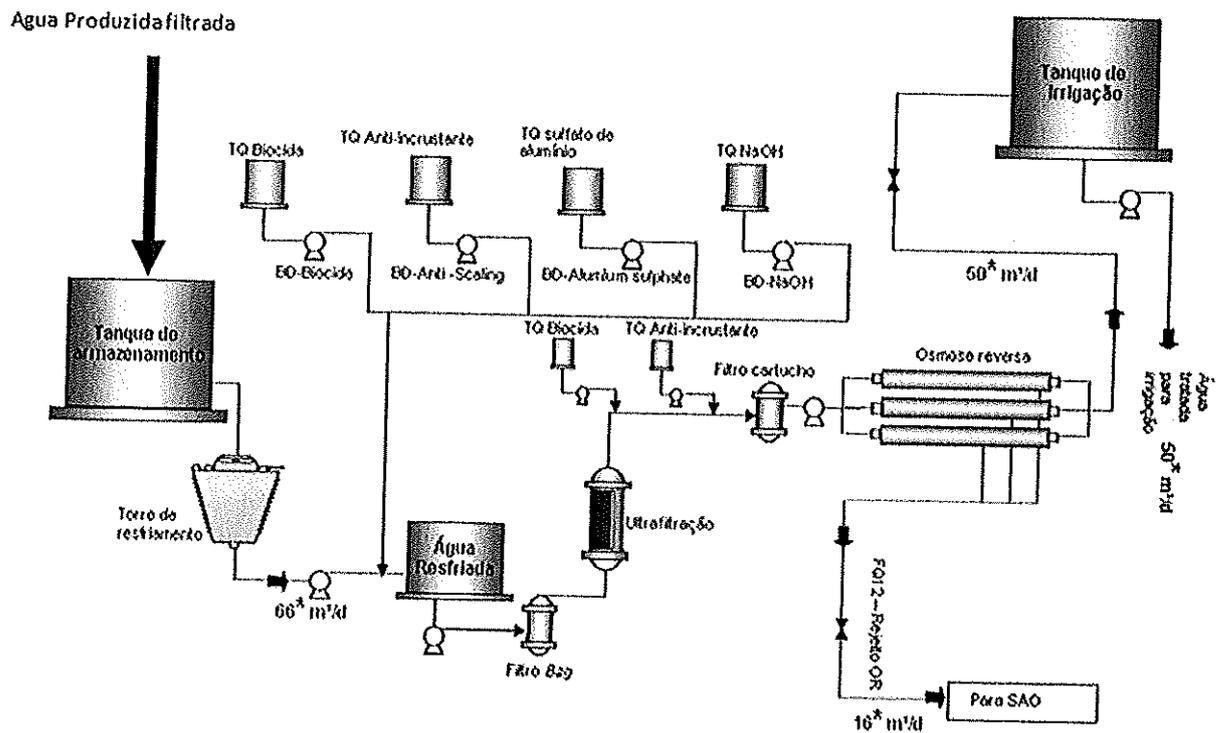


Figura 3 – Fluxograma do processo da rota 2 (a partir da rota 1) – água produzida desmineralizada.

### 3. Qualidade da Água Produzida

Os diferentes tipos de água foram coletados de forma a avaliar seu potencial de reuso para irrigação das culturas usadas. A destinação da água produzida está diretamente relacionada à sua qualidade. A baixa salinidade e pouca presença de contaminantes orgânicos tornam a água produzida do Campo de Fazenda Belém de boa qualidade, com alto seu potencial para reuso.

Foram realizadas amostragens de água produzida no Campo em diferentes períodos de 2012 a 2014 para estudar a variabilidade de suas características, sendo as amostras enviadas para diferentes laboratórios para que fossem realizados ensaios químicos, físico-químicos, biológicos e ecotoxicológicos. A caracterização envolveu parâmetros químicos e físico-químicos da Resolução CONAMA 357 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 17/03/2005. Alguns ensaios biológicos e ecotoxicológicos também estão sendo realizados. Os resultados obtidos pelos diferentes laboratórios, até o momento, apresentaram grande variabilidade, sendo recomendada sua repetição. Apesar da variabilidade dos resultados, estes não mostraram toxicidade crônica e/ou aguda significativas nos ensaios de ecotoxicológicos efetuados entre 2006 e 2012. Os pontos de coleta utilizados neste trabalho foram: saída do separador água-óleo; saída dos filtros de areia e saída das membranas de osmose inversa.

As tabelas 1, 2 e 3 resumem os valores dos parâmetros físico-químicos em desacordo com os limites estabelecidos na CONAMA 357, nas caracterizações efetuadas até o momento. Os demais parâmetros da CONAMA 357 encontram-se dentro dos limites estabelecidos na norma para amostras analisadas da água produzida testada.

Tabela 1 - Parâmetros em desacordo com a CONAMA 357 para água produzida na saída do Separador água-óleo.

PARÂMETRO	CONAMA 357	FAIXAS DE VALORES NAS AMOSTRAGENS 2013 Datas: 10/04, 20/06, 24/07, 23/09
O&G (teor de óleos e graxas)	0 ppm	10- 20 ppm
Cor	ausente	10-200 mg Pt/L
fenol	60 µg/L	30 – 555 µg/L
sulfeto	0,002 mg/L	0,005 – 0,01 mg/L
pH	6,5 – 8,5	7
TSD (teor sólidos dissolvidos)	500 ppm	2000 ppm

Tabela 2. Parâmetros em desacordo coma CONAMA 357 para água produzida na saída filtros Multimídia

PARÂMETRO	CONAMA 357 Classe 1	FAIXAS DE VALORES NAS AMOSTRAGENS de 27/01 A 29/01 2014
O&G	0 ppm	0 - 5 -ppm
TOC	3 ppm	10 – 20 ppm
fenol	60 µg/L	2 – 300 µg/L
sulfeto	0,002 mg/L	0,01 – 0,02 mg/L
pH	6,5 – 8,5	9
TDS	500 ppm	2000 ppm

Tabela 3. Parâmetros em desacordo com a CONAMA 357 para água na saída da Osmose Inversa.

PARÂMETRO 07/06,06/12, 02/13	CONAMA 357 Classe3	FAIXAS DE VALORES NAS AMOSTRAGENS 2012 e 2013 Datas: 07/06,06/12, 02/13
O&G	0 ppm	0 ppm
TOC	3 ppm	10 – 20 ppm
fenol	10 µg/L	2 – 300 µg/L
Sulfeto	0,3 ppm	0,01ppm (2013) 10ppm (2012)
pH	6,5 – 8,5	9
TDS	500 ppm	80 ppm

Os resultados obtidos indicam que os parâmetros e os níveis detectados nas amostras da saída dos filtros e saída da membrana de osmose são compatíveis com uso para irrigação de oleaginosas para matriz de biodiesel.

#### 4. Experimento Agrícola

O experimento agrícola foi conduzido pela Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA) visando avaliar efeitos da irrigação com água produzida na germinação de sementes, crescimento e produção de espécies ornamentais e oleaginosas.

A área irrigada está localizada no município de Aracati (CE), na margem esquerda da rodovia BR-304, sentido Mossoró (RN) – Fortaleza (CE). Pela BR-304, a área dista 56 km de Mossoró e 190 km de Fortaleza. Os experimentos sob irrigação foram desenvolvidos em um retângulo de 120 m por 160 m, inserido em uma área desmatada de aproximadamente 10 hectares, conforme ilustra figura 4. Essa área encontra-se dentro do assentamento “Lagoa do Mato Camará” (Zumbi dos Palmares).

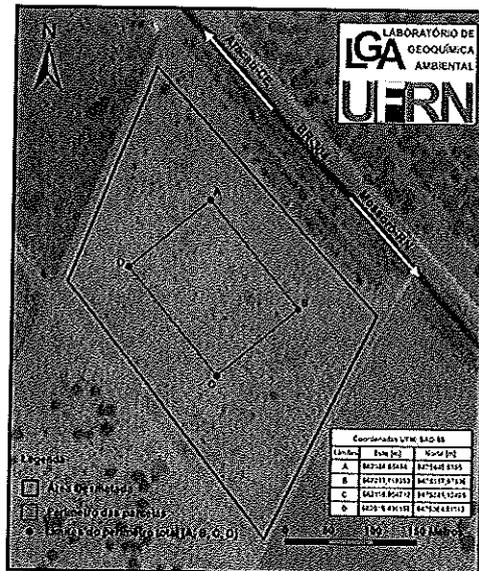


Figura 4 - Visão da área de irrigação.

No experimento avaliaram-se os efeitos da irrigação com água produzida em 4 espécies: 2 ornamentais (*Ananas bracteatus* e *Helianthus* sp) e 2 oleaginosas (*Helianthus annus* e *Ricinus comunnis*), irrigadas por 4 tipos de água: água produzida filtrada, água produzida dessalinizada, água da formação Açú e água da chuva (sequeiro). As culturas empregadas foram: Mamona, Girassol Ornamental, Abacaxi Ornamental. O delineamento amostral foi constituído de 48 parcelas (4 águas x 4 culturas x 3 repetições), como mostra a figura 5. As parcelas sob sequeiro foram abandonadas devido à grande estiagem ocorrida no período do experimento.

Tratamentos

-  Água 1
-  Água 2
-  Água 3
-  Água 4 - Sequeiro

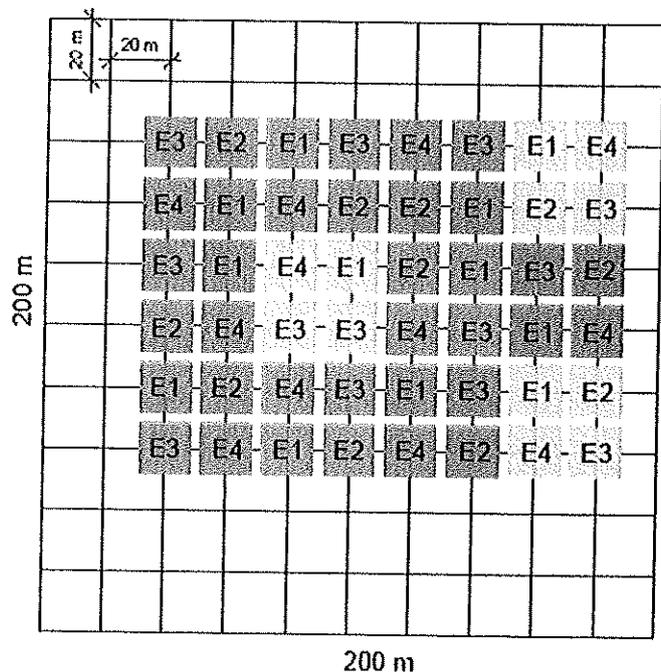


Figura 5 - Delineamento experimental.

Está sendo utilizado sistema de irrigação por gotejamento, devido aos fortes ventos (tubogotejadores autocompensantes, vazão de 1 L h<sup>-1</sup> e espaçamento de 0,3 m que garante uniformidade de aplicação da água). O

controle da aplicação de água foi automatizado com um controlador para cada tipo de água e uma válvula solenoide para cada combinação cultura-água. O monitoramento dos volumes totais aplicados foi efetuado por meio de hidrômetros.

## 5. AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DOS IMPACTOS

Os efeitos químicos/geoquímicos/hidroquímicos que o experimento de irrigação possa provocar no solo e água subterrânea na área do experimento são investigados pelo Laboratório de Geoquímica Ambiental da UFRN. Este estudo consiste de uma etapa de Caracterização preliminar, antecedendo o início do experimento, e de etapas de Monitoramento, após cada ciclo de plantio. Em todas as etapas estão sendo contempladas a avaliação das propriedades geoquímica/pedoquímica e hidrogeologia/hidroquímica. Estão sendo investigadas, também, variações composicionais no solo e água subterrânea que possam estar associadas à realização dos ciclos de cultivo de irrigação.

A amostragem de solo para a Caracterização foi realizada segundo malha retangular dividida em quatro setores, de modo a abranger de forma representativa a área do experimento antes de sua instalação, totalizando 64 estações de amostragem. Para a primeira etapa de Monitoramento, foram amostradas uma estação nas parcelas sob sequeiro e de Abacaxi Ornamental irrigado e duas estações nas parcelas irrigadas de Mamona, Girassol Oleífero e Girassol Ornamental, totalizando 75 estações. Para a segunda etapa de Monitoramento, foram amostradas duas estações em cada uma das 48 parcelas, totalizando 96 estações. Nessas três etapas já realizadas, foram também amostradas estações em área de mata preservada (estações de referência), situadas próximo ao local do experimento e onde ocorre o mesmo tipo de solo da área do experimento (NEOSSOLO QUARTZOARÊNICO Órtico). Em cada estação de amostragem, foi obtido material em três profundidades: 0 a 20 cm, 35 a 55 cm, 70 a 90 cm.

Nas amostras de solo estão sendo avaliados os parâmetros analíticos da tabela 4, de acordo com os métodos indicados.

Tabela 4. Parâmetros analíticos analisados nas amostras de solo.

PARÂMETROS ANALÍTICOS	MÉTODOS ANALÍTICOS
Hidrocarbonetos Voláteis: BTEX (hidrocarbonetos monoaromáticos). Compostos Orgânicos Semivoláteis: n-alcenos, isoprenóides; hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e dibenzotiofeno alquilados e não alquilados; hidrocarbonetos totais de petróleo (resolvidos-HR, não resolvidos-MCNR e totais-HT); fenóis (fenol, fenóis metilados e fenóis clorados).	EPA 5021 EPA 8021B EPA 3540C EPA 8270D
Elementos Químicos: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, Zr	EPA 3051A EPA 1312 EPA 3052 EPA 6010C
Parâmetros Pedofísicos e Pedoquímicos: Granulometria, pH em H <sub>2</sub> O e em KCl, condutividade elétrica, soma de bases trocáveis, CTC, N, P e matéria orgânica	EMBRAPA

Os possíveis efeitos causados pelo experimento de irrigação sobre as águas subterrâneas estão sendo avaliados mediante a coleta de amostras de água subterrânea em 12 poços de monitoramento, construídos no entorno do retângulo do experimento. Semelhante à avaliação geoquímica/pedoquímica, os poços foram amostrados na etapa de Caracterização e em duas etapas do Monitoramento ao longo do experimento. A amostragem desses poços é feita pelo método de baixa vazão e rebaixamento controlado, de acordo com o que determina a Norma ABNT NBR 15847:2010 (Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento).

Os parâmetros analíticos e métodos laboratoriais usados para as amostras de água subterrânea são indicados na tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros analíticos e métodos laboratoriais para avaliação hidrogeoquímica.

PARÂMETROS ANALÍTICOS	MÉTODOS ANALÍTICOS
Parâmetros medidos in Situ: Temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, turbidez e oxigênio dissolvido	Sonda Multiparamétrica YSI
Hidrocarbonetos Voláteis: BTEX (hidrocarbonetos monoaromáticos)	US EPA 5030B (ou US EPA 5021) + US EPA 8260B (ou US EPA 8021B)
Compostos Orgânicos Semivoláteis: n-alcanos, isoprenóides; hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e dibenzotiofeno alquilados e não alquilados; hidrocarbonetos totais de petróleo (resolvidos-HR, não resolvidos-MCNR e totais-HT); fenóis (fenol, fenóis metilados e fenóis clorados)	US EPA 3535A (ou US EPA 3510C) + US EPA 8270D
Parâmetros Físico-Químicos Básicos: Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , N amoniacal, PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos	SMEWW 3030 B + SMEWW 3120 B e/ou SMEWW 3125. SMEWW 2320 B
Elementos Químicos: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, Zr	SMEWW 3030 B + SMEWW 3120 B e/ou SMEWW 3125

Tanto para o caso de solo quanto para o de água subterrânea, a avaliação de possíveis efeitos causados pelo experimento é feita a partir da comparação entre os dados da etapa de Caracterização e os das etapas de Monitoramento, após cada ciclo de plantio.

Paralelamente, a EMBRAPA, responsável pela execução do experimento agrícola, vem conduzindo vários estudos para avaliar o efeito da água produzida no desenvolvimento, produção e pós-colheita dos cultivos, tais como: estudos sobre biocumulação de compostos orgânicos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno e Xileno) e HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) em tecidos vegetais, levantamento e manejo de pragas e doenças e seus inimigos naturais, dinâmica da matéria orgânica no solo, fixação de carbono e avaliação do crescimento das plantas, determinação das relações hídricas das plantas, balanço de energia das culturas; caracterização e monitoramento ambiental/ avaliação ambiental do cultivo. Serão também realizadas avaliações de impactos da água produzida na qualidade microbiológica e bioquímica do solo (microrganismos respondem sensivelmente a alterações ambientais e nas plantas).

## 6. Conclusões Preliminares

A qualidade da água produzida após os tratamentos testados indicou um bom potencial de reuso para finalidade de irrigação de oleaginosos para produção de biodiesel. O experimento ainda encontra-se em andamento, tendo sido concluído os primeiros 2 ciclos de cultivo de 4 previstos até final de 2014. Os resultados preliminares obtidos são indicativos de que, em função da boa qualidade da água produzida do reservatório do Campo de Fazenda Belém e simplicidade do processo de tratamento requerido, projetos de reuso de água produzida para irrigação são viáveis economicamente neste campo.

Os dados pedoquímicos e geoquímicos obtidos até o momento, relativos ao primeiro cultivo, mostram que o experimento de irrigação causa alterações no solo, embora em magnitudes variadas. No entanto, este comportamento pode ser atribuído à aplicação de adubos e corretivos (exemplo: aumento nas concentrações de P, N e Ca), como parte dos procedimentos agrícolas antes e ao longo da realização do experimento. No que diz respeito a modificações físico-químicas no solo devido às diferentes condições de irrigação combinadas com as diferentes plantas cultivadas, não se observou evidências consistentes ou importantes que possam estar associadas ao uso da água produzida.

Em relação à contaminação do solo por substâncias orgânicas, não foram detectados em nenhuma das amostras os hidrocarbonetos dos grupos analisados (n-alcanos, hidrocarbonetos aromáticos BTEX e HPAs, dibenzotiofenos e fenóis), de modo que não há registro da assinatura de qualquer contaminação por substâncias de petróleo que possam ter sido introduzidas no solo durante a realização do primeiro ciclo do experimento agrícola.

Em relação aos dados hidrogeológicos/hidroquímicos relativos ao primeiro ciclo, foi identificada até o momento uma tendência de elevação de alguns elementos químicos. Essa tendência pode estar relacionada a fenômenos naturais sazonais combinados com a realização do experimento. Esses componentes (natural e experimento) vieram a alcançar as águas subterrâneas, considerando que a primeira etapa do Monitoramento ocorreu sob influência da estação úmida, quando as águas das chuvas lixiviam elementos químicos para o meio aquífero. Trata-se portanto de um aporte potencial já esperado, uma vez que a realização do experimento é acompanhada da aplicação de adubos e fertilizantes.

Para os parâmetros orgânicos nas águas subterrâneas, alguns hidrocarbonetos individuais foram detectados na etapa da Caracterização, portanto antes da realização do experimento, porém em concentrações muito baixas, sendo estas interpretadas como naturais ou oriundas de aportes antropogênicos difusos. No entanto, tais substâncias individuais não foram detectadas nas amostras da primeira etapa do Monitoramento, reforçando o aspecto errático (difuso) desses compostos nas águas subterrâneas amostradas. Quanto aos parâmetros alifáticos conjuntos, estes foram detectados em ambas as campanhas, porém em concentrações baixas e sem assinaturas específicas que sua origem pode ser atribuída a fenômenos naturais ou a aportes difusos. Assim, não há registro da assinatura de qualquer contaminação por substâncias de petróleo que possam ter sido introduzidas nas águas subterrâneas durante a realização do primeiro ciclo do experimento agrícola.