

**UFRRJ**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**TESE**

**Fertirrigação do Capim Citronela (*Cymbopogon  
nardus* (L.) Rendle), Utilizando Água Residuária de  
Bovinocultura de Leite**

**Leonardo da Silva Hamacher**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E  
INOVAÇÃO AGROPECUÁRIA**

**FERTIRRIGAÇÃO DO CAPIM CITRONELA (*Cymbopogon  
nardus* (L.) Rendle), UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE  
BOVINOCULTURA DE LEITE**

**LEONARDO DA SILVA HAMACHER**

*Sob orientação do Professor*  
**Leonardo Duarte Batista da Silva**

Tese submetida como requisito para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo autor

H198f Hamacher, Leonardo da Silva, 1974-  
FERTIRRIGAÇÃO DO CAPIM CITRONELA  
(*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle), UTILIZANDO ÁGUA  
RESIDUÁRIA DE  
BOVINOCULTURA DE LEITE. / Leonardo da Silva Hamacher.  
- Seropédica, 2019.  
65 f.

Orientador: Leonardo Duarte Batista da Silva.  
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,  
Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em  
Agropecuária, 2019.

1. Fertilização. 2. Capim Citronela. 3. Água Residuária de  
Bovinocultura. I. Duarte Batista da Silva, Leonardo, 1971-,  
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e  
Inovação em Agropecuária III. Título.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
EM AGROPECUÁRIA**

**LEONARDO DA SILVA HAMACHER**

Tese submetida como requisito para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

**TESE APROVADA EM: 16/12/2019**

---

Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Alexandre Lioi Nascentes. Dr. UFRRJ

---

Carlos Rodrigues Pereira. Dr. UFF

---

David Vilas Boas de Campos. Dr. Embrapa Solos

---

Thelma de Barros Machado. Dra. UFF

Ao meu filho David e minha esposa  
Renatta, motivos constantes dos passos adiante.

“And the men who hold high places  
Must be the ones who start  
To mold a new reality  
Closer to the heart  
Closer to the heart”

(Neil Peart, 1981)

## AGRADECIMENTOS

Às boas vibrações deste mundo que me permitiram contar com tanta gente bacana e capaz que apareceu pelo meu caminho e de diversas formas contribuíram para chegar a este momento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva, pelas diversas oportunidades desde a iniciação científica até o doutoramento, além da orientação, paciência e amizade sem limites.

Àquelas que acreditaram, incentivaram, colocaram a mão na massa e cobraram sempre que necessário: Cristina Moll Hüther, Daiane Cecchin e Dirlane de Fátima do Carmo.

Ao amigo/irmão Flávio Castro da Silva que além de ajudar e estar todo o tempo à disposição, escutou com paciência as crises e serviu de exemplo de dedicação e retidão.

Ao professor e amigo Carlos Rodrigues Pereira pela calma que transpira e a todos contagia, além da ajuda constante.

À professora Thelma de Barros Machado que sempre disponibilizou ensinamentos além de toda a estrutura física de casas de vegetação e laboratórios para que a parte experimental pudesse ser realizada na UFF.

Ao amigo Marcelo Luz Matos que foi parceiro desde a graduação até o doutoramento, pelo estímulo constante, apoio e por tornar as viagens a Seropédica bem mais animadas.

À Izabela Pontes do Couto pelas brigas diárias que nada mais são que carinho e preocupação constante.

Aos técnicos e amigos Celso Nunes Fernandes e Elton Oliveira pela eterna paciência e participação fundamentais para o bom andamento do experimento.

À Caíssa Perucci pela preciosa ajuda e risadas constantes.

Aos alunos Wallace Mattos, Magdo Junio, Tainá Linhares, Mariana de Oliveira Pereira e Joana Mayer Coutada pela ajuda e participação na parte experimental deste trabalho

À Universidade Federal Fluminense – UFF e ao Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente- TER por permitir o meu doutoramento concomitantemente às minhas atividades normais.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ pela oportunidade de fazer parte do seu notável Programa de Pós-Graduação e agora carregar com honra esse nome na minha história pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária – PPGCTIA, por fornecer todas as condições para a realização deste Doutorado.

À Renata Gomes pela imensurável atenção, comprometimento, simpatia e boa vontade. Nos momentos mais tensos ela sempre tinha palavras e um sorriso reconfortantes. Sempre agradecido por tudo.

Aos colegas de trabalho, que em algum momento me deram uma palavra de conforto ou incentivo.

A todos que estão distantes, mas que fazem parte da minha vida.

Aos membros da banca, pela contribuição para esta tese através de suas sugestões e por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora.

Aos Hamacher, Villares, Paivas, Silvas e Bachinis.... Sem vocês eu nada seria, muito menos um dia Doutor em alguma coisa.

Finalmente, àqueles que, quando eu não mais acreditava, nunca desistiram: minha mulher Renatta e meu filho David. Obrigado pela calma e paciência, carinho e força. A vocês devo TUDO.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ.

## RESUMO

HAMACHER, Leonardo da Silva. **Fertirrigação do capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle), utilizando água residuária de bovinocultura de leite.** 2019. 65f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2019.

Em virtude dos impactos negativos ligados ao descarte nos corpos hídricos das águas residuárias de bovinocultura (ARB) de leite, avaliou-se os efeitos da fertirrigação com água residuária da bovinocultura de leite aplicada em diferentes doses na cultura da citronela, avaliando o seu efeito no solo e nas características fisiológicas da planta. Para tanto, adotou-se o uso de Nitrogênio como elemento de referência e fez-se o cálculo da quantidade de ARB equivalente a ser aplicada para substituir este elemento. A partir daí foram aplicadas doses equivalentes a 100%, 200% 300% e 400% da dose recomendada de N via ARB. Utilizaram-se vasos de 18 L em casa de vegetação no período de março até outubro de 2017. Com relação às plantas avaliou-se a massa fresca e seca de raízes e folhas, a produção e o teor do óleo essencial de um corte após seis meses de cultivo e avaliou-se a resposta da atividade fotoquímica e o ganho de biomassa. Já com relação ao solo, avaliaram-se as mudanças químicas e físicas após o período de aplicação de ARB. Verificou-se que a resposta da citronela às doses de ARB aplicadas foi tempo-dependente e a energia que foi absorvida pelos fotossistemas foi utilizada para redução dos aceptores finais na cadeia de transporte de elétrons, promovendo em todas as doses, uma melhor eficiência fotoquímica, mas, isso não refletiu no ganho de biomassa, principalmente das folhas. Foi avaliado a disponibilização de nutrientes via fertirrigação para o solo e também a relação dessa disponibilização de nutrientes na produção de óleo essencial para os tratamentos. Os resultados demonstraram que o fornecimento de ARB para o cultivo de citronela foi eficaz no fornecimento de nutrientes minerais para o solo, já que se observou equivalência na maioria dos parâmetros quando analisados em relação ao tratamento com adubação mineral. Entretanto, isso não demonstrou diferença entre os tratamentos para a produção de óleo essencial, não influenciando na quantidade de óleo essencial e nos rendimentos quando comparados os tratamentos com ARB com tratamento de adubação mineral. Portanto, a utilização de água residuária de bovinocultura de leite para fertirrigação de cultivos de capim citronela é uma alternativa válida para fornecimento de composição mineral do solo e com isso auxilia na mitigação dos impactos relacionados ao descarte desta, porém sugerem-se novos estudos com maior período de avaliação e outros tipos de solos.

**Palavras-chave:** Saneamento Rural, Planta Medicinal, Reciclagem de Nutrientes

## ABSTRACT

HAMACHER, Leonardo da Silva. **Fertigation of citronella grass (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) using dairy cattle wastewater.** 2019. 65p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agriculture). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2019.

Due to the negative impacts associated with the disposal of dairy cattle wastewater (CWW), the effects of wastewater fertigation of dairy cattle applied at different doses to the citronella culture were evaluated by assessing its effect on soil physiological characteristics of the plant. For this, the use of Nitrogen as a reference element was adopted and the equivalent amount of CWW to be applied to replace this element was calculated. Thereafter doses equivalent to 100%, 200% 300% and 400% of the recommended dose of N by way of CWW were applied. Eighteen liters pots were used in a greenhouse from march to october 2017. In relation to the plants it was evaluated the fresh and dry mass of roots and leaves, the yield and the essential oil content of a cut after six months of cultivation and the response of the photochemical activity and the gain were evaluated. of biomass. Regarding the soil, the chemical and physical changes were evaluated after the period of application of CWW. The response of the citronella to the doses of CWW was time-dependent and the energy that was absorbed by the photosystems was used to reduce the final acceptors in the electron transport chain, promoting better photochemical efficiency at all doses. But, this did not reflect in the biomass gain, mainly of the leaves. The availability of nutrients via fertigation for the soil and the relationship of this availability of nutrients in the production of essential oil for the treatments was evaluated. The results showed that the supply of CWW for citronella cultivation was effective in the supply of mineral nutrients to the soil, which was equivalent in most parameters when analyzed in relation to the treatment with mineral fertilization. However, this showed no difference between treatments. for the production of essential oil, not influencing the amount of essential oil and yields when compared to treatments with CWW with mineral fertilizer treatment. Therefore, the use of wastewater from dairy cattle for fertigation of citronella grass crops is a valid alternative to supply soil mineral composition and thus helps mitigate the impacts related to its disposal, but further studies are suggested about evaluation period and other soil types.

**Key-words:** Rural Sanitation. Medicinal plant. Nutrient recycling.

## RESUMEN EXPANDIDO

Hamacher, Leonardo da Silva. **Fertigación de hierba de citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle), usando agua residual de ganado lechero**. 65p. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2019.

### 1. Introducción

En 2017, la ganadería brasileña tenía un rebaño de 172,7 millones de cabezas, de las cuales 1,17 millones de propiedades rurales eran dedicadas a la producción de leche. Sabiendo que la creación de ganado lechero, específicamente, es una de las actividades productivas que presenta un alto potencial de degradación ambiental debido al mal destino de las aguas residuales de la ganadería (ARG) y que, además de estos impactos ambientales, el despejo inadecuado de las ARG puede ocasionar multas de los organismos públicos responsables de la calidad del medio ambiente, se crea un escenario en el que es necesario encontrar soluciones específicas para tratar, eliminar o aprovechar estos desechos.

Entre las posibilidades, las aguas residuales pueden ser utilizadas en áreas agrícolas, que pueden permitir (cuando se tienen en cuenta los criterios agronómicos y ambientales) una mayor productividad y calidad del producto, reducción de la contaminación, de fertilizantes y de costos, así como mejora las características químicas, físicas y biológicas del suelo. En este contexto, la búsqueda de alternativas que reduzcan el impacto ambiental relacionado con actividades ya existentes, así como la búsqueda de otras formas de generación de ingresos, se vuelve fundamental para impulsar la producción, reduciendo la fragilidad económica y ambiental relacionada con a las propiedades, especialmente a las de pequeño porte.

Considerando el crecimiento observado en la demanda y la viabilidad del mercado de plantas medicinales o aromáticas, fue elegida la citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) para evaluar el uso de ARG lácteo para su fertirrigación. Esta planta es rústica, se adapta a diferentes tipos de suelos y climas, además de presentar un valor económico relacionado a el aceite esencial que se extrae de ella.

Citronela (*Cymbopogon nardus*), perteneciente a la familia Poaceae, es originaria del continente asiático, particularmente en Sri Lanka (anteriormente Ceilán) y el sur de la India. Es ampliamente utilizada como planta aromática, en usos terapéuticos, perfumerías y actividad biocida. Las principales sustancias presentes en el aceite esencial de citronela son citronelal, geraniol y citronelol, normalmente producidos por células secretoras o grupos de células, que se encuentran en diferentes partes de la planta, como las hojas y los tallos.

Las plantas en general responden a las variaciones ambientales, con cambios en su metabolismo, tanto primario como secundario. Las plantas medicinales, más específicamente, pueden alterar la composición de sus ingredientes activos, que son sustancias importantes que realizan numerosas funciones, por lo que es necesario comprender la relación que se establecería entre las dosis de ARG aplicadas y las respuestas del cultivo, una vez que su uso sería ideal para maximizar la eliminación de ARG, aumentar la producción de aceite esencial (en el caso específico de citronela) y no contaminar el suelo.

Por lo tanto, el objetivo general del estudio fue evaluar los efectos de la fertirrigación con aguas residuales del ganado lechero aplicado a diferentes dosis en el cultivo de citronela, evaluando su efecto en el suelo y en las características fisiológicas de la planta. Más específicamente, se pretendía verificar la producción de citronela en términos de masa fresca y seca de hojas y raíces, así como la respuesta de la actividad fotoquímica bajo diferentes dosis de nitrógeno aplicadas a través de portaobjetos ARG, para analizar el efecto de los tratamientos en la producción de aceite esencial de citronela, comparar las características químicas y físicas del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos y, finalmente, determinar qué

dosis de aplicación de aguas residuales proporcionará una mayor productividad del cultivo, sin comprometer la calidad del suelo.

## **2. Metodología**

### **2.1 Caracterización del experimento**

El experimento se llevó a cabo entre los meses de marzo y noviembre de 2017 (primavera), en el área experimental "Banco Ativo de Germoplasma", en el campus de Gragoatá, en la Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.

Las plántulas de citronela, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, de la familia Poaceae, permanecieron un mes en el invernadero para aclimatarse, antes de trasplantarlas a las macetas de polietileno de 18L. Estas fueron colocadas en el invernadero, en un área de 112.0 m<sup>2</sup> con cobertura de plástico agrícola de 150 µm, además de una polisombra de 50% de sombreado instalada en los lados y en el techo, con espacio entre líneas de 1.0 m y de 0,50m entre las macetas.

La caracterización físico-química del suelo utilizada en el experimento se realizó según los métodos descritos en EMBRAPA (1997). El resultado del análisis físico-químico mostró que el suelo era ácido, distrófico, de baja fertilidad, de textura arenosa, compatible con un suelo degradado. Se realizaron correcciones de acidez con cal dolomítica y, en el día del trasplante, fue realizada una fertilización con fósforo y potasio, siguiendo los resultados del análisis del suelo y las recomendaciones según Embrapa (2013), para garantizar el suministro de estos macronutrientes, en todos los tratamientos.

Las ARG utilizadas en este experimento se prepararon con material *in natura* (heces y orina del ganado), recolectado después de la limpieza de un corral privado ubicado en el barrio de Monjolos, municipio de São Gonçalo (RJ). Para mantener las condiciones adecuadas y con la preocupación de tener un volumen final compatible para aplicar, se mezcló 70% de agua sin cloro con 30% de estiércol fresco para preparar el ARG utilizado en el experimento.

El Nitrógeno fue definido como un elemento de referencia para el estudio y basado en tres elementos: 1) las caracterizaciones del suelo, 2) el ARG y 3) la referencia de la dosis de Nitrógeno necesaria para el cultivo de citronela (SBCS, 2004), con estas informaciones se utilizó la ecuación de Matos (2006) para determinar la dosis requerida de ARG en el cultivo.

A partir del valor de ARG obtenido para suministrar el 100% de la necesidad de nitrógeno de la citronela, se calcularon cinco tratamientos, siendo: T1-100% de la dosis de N proporcionada por fertilización mineral; T2-100% de la dosis de N proporcionada a través de ARG; T3-200% de la dosis de N proporcionada a través de ARG; T4-300% de la dosis de N proporcionada a través de ARG; y T5-400% de la dosis de N entregada a través de ARG.

La primera aplicación de ARG se realizó el 29 de mayo de 2017 y, posteriormente, una vez por semana. La aplicación de diferentes dosis de ARG en el suelo se realizó manualmente, utilizando vasos de precipitados con diferentes graduaciones de volumen.

#### **2.1.1 Uso de ARG en cultivos de citronela: efectos sobre la actividad fotoquímica y la biomasa.**

Para obtener los datos de fluorescencia de clorofila *a*, se realizaron tres análisis durante el experimento: el primero, lectura después de 38 días; el segundo, realizando la lectura con 140 días; y el tercero, leyendo 182 días después de que comenzara la aplicación ARG. El análisis de la fluorescencia transitoria de clorofila *a* se realizó mediante tratamiento en 15 hojas jóvenes completamente expandidas y no desprendidas. Las hojas se adaptaron previamente a la oscuridad durante 30 minutos utilizando un fluorómetro portátil modelo Handy PEA (Hansatech Instruments, King's Lynn, Reino Unido). Luego, se aplicó un pulso de saturación

de 3.400  $\mu\text{mol}$  de fotones  $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  para inducir fluorescencia transitoria. Las intensidades de fluorescencia transitoria se midieron entre 50  $\mu\text{s}$  (fluorescencia inicial - F0) y 1 s. Seguido se obtuvieron los valores de fluorescencia transitoria, calcularon los parámetros de la prueba JIP.

La determinación del contenido de pigmentos fotosintéticos se realizó por espectrofotometría y al final del experimento en todos los tratamientos. Se maceraron muestras de 0,15 g de masa de hojas frescas en presencia de acetona al 80%, y el resultado de la extracción de pigmento se calculó utilizando las ecuaciones de Hendry y Grime (1993), representadas en  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}\cdot\text{MF}^{-1}$ .

Se tomaron muestras de cinco plantas por tratamiento para obtener datos sobre la acumulación de materia seca, partición de fotoasimilados entre hojas, tallo y raíces, considerando la unidad de muestreo como una planta por maceta. Para ello, las muestras de pasta fresca se mantuvieron en un horno con circulación de aire forzado a 65°C durante 72 h, hasta alcanzar un peso constante. Luego, se pesaron en una balanza analítica, y los valores encontrados se representaron en gramos.

### **2.1.2 Fertilidad del suelo y producción de aceites esenciales en cultivos de citronela regada con ARG**

Inmediatamente después de recolectar, pesar y almacenar las hojas, se recolectaron muestras de suelo de cada tratamiento, se estandarizaron (por tratamiento) y se enviaron para análisis físico y químico de acuerdo con las recomendaciones de Embrapa (1997). Con el análisis en mano, los resultados obtenidos del suelo se comparan antes de la aplicación y después de la aplicación de los tratamientos.

Para la extracción de los aceites esenciales de citronela obtenidos en cada tratamiento, el material vegetal (hojas) se recogió a los 183 días después de la poda de uniformidad, totalizando tres réplicas por tratamiento y se almacenó en un congelador a -20 ° C. El método de extracción de aceite esencial fue la hidrodestilación. Después de separar el aceite de su fase acuosa, la fase orgánica se filtró a través de papel de filtro y se sometió a evaporación a presión reducida usando un evaporador rotatorio a 30 ° C hasta la evaporación completa del disolvente.

Luego, las muestras de aceite esencial se diluyeron al 0,1% (v / v) en diclorometano y se analizaron en un cromatógrafo de gases acoplado al espectrómetro de masas. Después del análisis del aceite esencial y los cálculos posteriores, los datos se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad y los promedios de tratamiento se compararon mediante la prueba de Tukey con una probabilidad del 5% utilizando el programa estadístico Sisvar V.5.6 (FERREIRA, 2014).

## **3. Resultado y Discusión**

### **3.1 Uso de ARG en cultivos de citronela: efectos sobre la actividad fotoquímica y la biomasa**

Las plantas de citronela, en los cinco tratamientos a los que fueron sometidas, exhibieron cambios fisiológicos de acuerdo con cada dosis de nitrógeno proporcionada. En general, para todos los tratamientos, el suministro de ARG proporcionó una mejor eficiencia en la actividad fotoquímica de estas plantas, sin embargo, la respuesta fue dependiente del tiempo.

A los 38 días, para el parámetro que indica el índice de rendimiento total (PI<sub>total</sub>) de la cadena de transporte de electrones, todos los tratamientos permanecieron por debajo de la prueba de control, lo que demuestra que el período inicial de aplicación de ARG no promovió un mejor rendimiento fotoquímico, tal vez debido al período de aclimatación al nuevo entorno. En 140 días, se observó en general que, para todos los tratamientos, el suministro de ARG fue favorable al rendimiento total de la cadena de transporte de electrones. Esto demuestra que la

eficiencia fotosintética de la planta aumentó a medida que aumentó la dosis de nitrógeno proporcionada por ARG.

Finalmente, a los 182 días después del suministro de ARG, las plantas fueron más eficientes que en el análisis anterior (140 días) con respecto a la actividad fotoquímica, con un IP total más alto para todos los tratamientos, excepto el tratamiento con 300% de la dosis de nitrógeno a través de ARG, que se mantuvo en niveles de control para la mayoría de los parámetros.

De acuerdo con las respuestas del análisis de fluorescencia de la clorofila *a*, para las plantas de citronela con diferentes dosis de nitrógeno y suministro a través de ARG, en comparación con el control (sin aplicación de ARG), fue posible verificar que las aguas residuales promovieron la nutrición mineral suficiente, des esta forma, causó respuestas adecuadas a la actividad fotoquímica. Esto puede contribuir a la promoción del crecimiento y el desarrollo, ya que la obtención de una buena productividad generalmente está condicionada al suministro de nutrientes, como NPK, a través de la fertilización mineral y / u orgánica.

La evaluación de los datos de masa seca total mostró que los tratamientos con ARG no produjeron una mayor ganancia en la masa seca total.

Las hojas son materias primas de importancia económica para la extracción de los ingredientes activos utilizados en la industria cosmética y farmacéutica y, en este trabajo, ningún tratamiento con ARG mostró una mayor ganancia en la masa de la hoja. Estos resultados no corroboran con los observados en los análisis de fluorescencia de clorofila *a*, en los que los tratamientos con ARG presentaron un PI<sub>total</sub> más alto, excepto el tratamiento con ARG con 300% de nitrógeno, que mantuvo niveles de control. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una mayor eficiencia en la actividad fotoquímica no significa mayor transformación en ganancia de masa por parte de la planta, debido a la actividad bioquímica de la fotosíntesis, ya que la energía generada también se usa para otras actividades metabólicas de la planta.

En cuanto a los resultados observados en la clorofila *a* fluorescencia y en los demás análisis, se evidenció, en general, que lo más adecuado para el cultivo de citronela con ARG son las dosis de 100 y 200% de nitrógeno, valores intermedios para la concentración de nutrientes minerales

Así, se destaca el hecho de que el suministro de ARG para la producción de citronela es eficiente en varios aspectos y, además, promueve el uso de un desecho con un alto potencial contaminante cuando no tiene destino adecuado. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para comprender cómo estas diferentes dosis de nitrógeno a través del suministro de ARG pueden alterar y / o regular la biosíntesis de compuestos del metabolismo secundario de esta especie, que es de gran importancia económica. El uso de este residuo, además de las ventajas agronómicas, proporciona un destino alternativo, de conformidad con el capítulo 3, artículo 27, de la Resolución del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) No. 430, que trata las condiciones y estándares para la descarga de efluentes (BRASIL, 2011).

### **3.2 Fertilidad del suelo y producción de aceites esenciales en cultivos de citronela regada con ARG**

En la caracterización química del suelo, específicamente en relación con el valor del pH, se observó que era ácido antes de cualquier tratamiento e, incluso después de la corrección con piedra caliza dolomítica (T1), permaneció ácido. Sin embargo, a medida que la dosis de N aumentó a través de ARG, se observó que el valor de pH aumentó, hasta alcanzar 6.10 en el tratamiento con T5. Fue posible observar un aumento de hasta 1,2 puntos en relación con el tratamiento T1. Como consecuencia, en relación con el tratamiento T1, donde solo se realizó el encalado recomendado, el aluminio se redujo hasta un -77.27% en T5. La aplicación de ARG contribuyó a elevar el pH y reducir el contenido de aluminio en el suelo, además de la corrección con piedra caliza estándar y uniforme en todos los tratamientos.

El aumento en el valor V% fue lineal en todos los tratamientos, alcanzando 78.25% en T5. Este resultado muestra el efecto de la aplicación de ARG en la mejora de la fertilidad del suelo analizado. Con respecto al contenido de materia orgánica, en el presente estudio, se encontró que no cambió en relación con los tratamientos, quizás debido a la formación de una corteza superficial en los vasos. También se observó que el aumento de N en el suelo no fue muy significativo, posiblemente debido al hecho de que las plantas se asimilaron en su metabolismo o se volatilizaron.

Con respecto a los aceites esenciales, las sustancias identificadas en mayor concentración en el aceite esencial de la especie *Cymbopogon nardus* fueron:  $\beta$ -citronelal,  $\beta$ -citronelol, trans-geraniol y acetato de citronelol que se clasifican como monoterpenos y sesquiterpenos. La mayoría fue  $\beta$ -citronelal para todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre los tratamientos analizados.

En el tratamiento en el que no se proporcionó ARG, es decir, solo con fertilización mineral, no se reflejó en una mayor producción de aceites, ya que el tratamiento que presentó el mayor rendimiento de aceite fue la aplicación del 400% de la dosis de nitrógeno a través del suministro de ARG, pero sin diferencia estadística para el tratamiento con fertilización mineral. El rendimiento del aceite, en estas condiciones experimentales, mostró que independientemente del tratamiento aplicado, la producción de aceite era equivalente para todos los tratamientos y no mostraba una relación dependiente de la dosis con la aplicación del ARG.

Para las sustancias analizadas, se encontró que las diferentes concentraciones de nitrógeno proporcionadas por el ARG no interfirieron, así como tampoco obtuvieron respuestas iguales al control (fertilización mineral). Sin embargo, sería interesante tener un tratamiento como control cero (fertilidad natural del suelo), es decir, sin suministrar ningún elemento mineral, solo lo que ya estaba contenido en el suelo.

Por lo tanto, la fertirrigación con ARG en la producción de citronela puede ser indicada, ya que se presenta de manera equivalente a la fertilización mineral. Además, puede ser una alternativa viable, principalmente para el suministro de nutrientes, en la recuperación de suelos degradados y la promoción de la disponibilidad de agua, además de la disponibilidad adecuada y productiva de las aguas residuales generadas.

#### **4. Consideraciones Finales**

La aplicación de ARG lácteo promueve la fertilización del suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes para las plantas, siempre que se apliquen las cantidades calculados para el cultivo de citronela, sin embargo, esto no impacta positiva o negativamente la producción de aceites esenciales en estas plantas.

Por otro lado, es importante resaltar que estos resultados indican la posibilidad de eliminación de algunos insumos externos (fertilizantes minerales) para mantener la productividad y la consiguiente reducción de costos relacionados con esta actividad cuando se utiliza ARG en cantidades debidamente calculadas.

Finalmente, el uso de ARG para el cultivo de citronela puede indicarse como un buen destino para un desecho que a menudo, subutilizado, se convierte en una responsabilidad ambiental para los suelos y diversos cuerpos de agua donde generalmente se realiza la eliminación.

**Palabras clave:** Fertirrigación, Citronela hierba, Aguas residuales del ganado.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I

- Figura 1** – Disposição das parcelas experimentais e parcelas de bordadura do cultivo realizado; T1=N mineral, T2=100%, T3=200%, T4=300% e T5=400 % da dose de N recomendada para a citronela fornecida via ARB ..... 25
- Figura 2** – Parâmetros do Teste JIP, em relação ao respectivo controle, obtidos a partir da fluorescência transiente OJIP das clorofilas de plantas de citronela cultivadas sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira (ARB) ..... 26
- Figura 3** – Massa de matéria seca de folha, caule, raiz e total de citronela nos tratamentos testemunha (ARB-T), tratamento 1 (ARB-100), tratamento 2 (ARB-200), tratamento 3 (ARB-300) e tratamento 4 (ARB-400). Barra indica Desvio Padrão ..... 31

### CAPITULO II

- Figura 1** – Localização da casa de vegetação utilizada para desenvolvimento dos trabalhos ..... 46
- Figura 2** – Detalhe da poda realizada no ato do transplântio das mudas de citronela ..... 47
- Figura 3** – Disposição de vasos na casa de vegetação ..... 47
- Figura 4** – Aspecto visual das plantas dispostas aleatoriamente na casa de vegetação (A) e ao final do experimento (B) ..... 53
- Figura 5** – Cromatograma das substâncias presentes no óleo essencial da citronela e seus respectivos tempos para o tratamento sem cortes nas raízes e folhas ..... 56
- Figura 6** – Estrutura das quatro substâncias majoritárias encontrados nas amostras ..... 56
- Figura 7** – Percentagem das substâncias em cada tratamento após 183 dias de cultivo ..... 57
- Figura 8** – Percentagens de Citronelal (A) e de Citronelol (B) encontrados em cada tratamento ..... 58
- Figura 9** – Percentagens de *trans*-Geraniol (A) e de acetato de Citronelol (B) encontrados em cada tratamento ..... 59

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Recomendação de doses de Nitrogênio para o cultivo de citronela .....	09
---	----

### CAPITULO I

<b>Tabela 1</b> – Valores médios de pigmentos fotossintéticos de citronela em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira (ARB) .....	28
<b>Tabela 2</b> – Dados extraídos da análise química do solo em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela .....	29

### CAPITULO II

<b>Tabela 1</b> – Caracterização química do solo utilizado no experimento .....	48
<b>Tabela 2</b> – Caracterização física do solo utilizado no experimento antes e imediatamente após a colheita dos tratamentos .....	48
<b>Tabela 3</b> – Caracterização química da ARB utilizada no experimento .....	49
<b>Tabela 4</b> – Caracterização química do solo antes e imediatamente após a retirada das plantas dos tratamentos ao final do experimento .....	54
<b>Tabela 5</b> – Quantidade de óleo essencial obtido em cada tratamento .....	57
<b>Tabela 6</b> – Substâncias presentes no óleo essencial da citronela em maiores quantidades e seus rendimentos .....	59
<b>Tabela 7</b> – Quantidade de óleo essencial e rendimentos .....	60

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** – Características das águas residuárias que afetam o sistema solo-planta ..... 04  
**Quadro 2** – Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto... 07

### CAPITULO I

- Quadro 1** – Tratamentos avaliados no experimento com ARB ..... 24

### CAPITULO II

- Quadro 1** – Tratamentos avaliados no experimento com ARB ..... 50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{mol}\cdot\text{gMF}^{-1}$	Micromol por grama de Massa Fresca
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ARB	Água Residuária de Bovinocultura
ARSF	Água Residuária de Suinocultura Filtrada
CC	Capacidade de Campo
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl	Cloro
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
CUC	Coefficiente de Uniformidade de <i>Christiensen</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
K	Potássio
$\text{K}_2\text{O}_5$	Óxido de Potássio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
$\text{NH}_4^+$	Amônio
Ni	Níquel
$\text{NO}_2^-$	Nitrito
$\text{NO}_3^-$	Nitrato
NMP	Número mais provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Fósforo
$\text{P}_2\text{O}_5$	Superfosfato Simples
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMP	Ponto de Murcha Permanente
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
SBSC	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos suspensos totais
TDR	<i>Time Domain Reflectometer</i>
UFC	Unidade Formadora de Colônia
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Águas Residuárias de Bovinocultura (ARB).....	3
2.1.1 Uso da ARB em cultivos agrícolas.....	3
2.1.2 Conceito de risco e perigo .....	5
2.1.3 Controle legislativo sobre o uso de água residuária em cultivos agrícolas .....	6
2.2 Citronela .....	8
2.3 Nutrição Mineral.....	10
<b>3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CAPÍTULO I - APROVEITAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA NO CULTIVO DE CITRONELA: EFEITOS NA ATIVIDADE FOTOQUÍMICA E NA BIOMASSA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 RESUMO.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 ABSTRACT .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>4.4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>
<b>5. CAPÍTULO II - FERTILIDADE DO SOLO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL NA CULTURA DE CITRONELA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1 RESUMO.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 ABSTRACT .....</b>	<b>43</b>
<b>5.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
5.4.1 Local e Condução do Experimento .....	45
5.4.2 Análise do Solo.....	47
5.4.3 Caracterização da ARB .....	47
5.4.4 Extração de Óleo Essencial .....	50
5.4.5 Análise Química dos Óleos Essenciais.....	51
5.4.6 Delineamento Experimental .....	51
<b>5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>

5.5.1 Fertilidade do Solo .....	52
5.5.2 Produção de Óleo Essencial .....	54
<b>5.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Sabe-se que uma das melhores formas de aumentar a distribuição de rendas e empregos, potencializar e diversificar a produção agrícola e assim, permitir o desenvolvimento de uma sociedade mais justa e economicamente mais eficiente é através do fortalecimento da agricultura familiar.

Dentro das estratégias de fortalecimento dos empreendimentos rurais de pequeno porte, uma das ferramentas largamente utilizadas é a diversificação da produção, que tanto minimiza os efeitos da volatilidade de preços como das incertezas climáticas. Além disso, outra estratégia ambientalmente recomendada é que, quando possível, exista integração entre estas atividades, isto é, que subprodutos de uma possam ser utilizados como insumo de outras.

Em 2017 a bovinocultura brasileira contava com um rebanho de 172,7 milhões de cabeças, sendo que 1,17 milhão de propriedades rurais se dedicam à produção de leite (IBGE, 2019). Levando-se em conta que a criação de gado leiteiro é uma das atividades produtivas que apresenta alto potencial de degradação ambiental em função da má destinação das águas residuárias da bovinocultura (ARB) e, associado a isso, a ação fiscalizadora realizada por órgãos públicos responsáveis pela qualidade do meio ambiente, buscam-se soluções específicas no sentido de tratar, dispor ou aproveitar esses resíduos.

Uma das alternativas é o uso dessas águas em áreas agricultáveis, o que pode possibilitar aumento de produtividade e qualidade dos produtos, redução da poluição e dos custos, e melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (BARROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006).

Observando o cenário da agricultura atual e as novas potencialidades do mercado, destaca-se o cultivo de plantas medicinais como uma oportunidade de agregar valor e diversificar a produção sem custos excepcionais e com produtos de fácil absorção pelo mercado. O cultivo do capim citronela é uma das opções, uma vez que podem gerar renda devido o interesse comercial no óleo essencial que é extraído de suas folhas. Esse óleo essencial é empregado em repelente de insetos (SOARES et al., 2010), perfumaria, cosméticos, fabricação de velas, cremes e loções (CAMPOS et al., 2016; FEPAGRO, 2003), na ação carrapaticida, fungicida, inibitória de nematóides e inseticida (BRUM et al., 2014; CAPOCI et al., 2015; COLPO, JAHNKE & FÜLLER, 2014; OLIVO et al., 2008; MOREIRA et al., 2015), tendo uso também como sedativo, calmante, anti-inflamatório e antirreumático (CASTRO et al., 2007; CASTRO et al., 2010; MEDEIROS & CRISOSTIMO, 2013).

A tese está organizada em dois capítulos, o primeiro, de título Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na atividade fotoquímica e na biomassa, tem como objetivos avaliar se a destinação da ARB leiteira na irrigação de citronela pode influenciar (positiva ou negativamente) a atividade fotossintética e também a produção de massa de raiz, folha e caule. O segundo, de título Fertilidade do solo e produção de óleo essencial na cultura de citronela irrigada com água residuária de bovinocultura leiteira, pretende, de forma complementar ao primeiro capítulo, determinar se o uso da ARB leiteira para o cultivo da citronela interfere na fertilidade do solo em questão e na qualidade do óleo essencial obtido.

Portanto, o objetivo geral do estudo foi o de avaliar os efeitos da fertirrigação com água residuária da bovinocultura de leite aplicada em diferentes doses na cultura da citronela, avaliando o seu efeito no solo e nas características fisiológicas da planta.

Os objetivos específicos foram:

- Verificar a produção de capim citronela em termos de massa fresca e seca de folhas e raízes bem como a resposta da atividade fotoquímica sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas ARB;
- Analisar o efeito dos tratamentos na produção do óleo essencial de capim citronela;
- Comparar as características químicas e físicas do solo antes e após a aplicação dos tratamentos; e
- Determinar qual dose de aplicação de água residuária proporcionará maior produtividade da cultura, sem comprometer a qualidade do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Águas Residuárias de Bovinocultura (ARB)

A pecuária é uma atividade econômica relevante no Brasil, sendo que dados do censo de 2017 (IBGE 2019) apontam que é predominante em 47% dos estabelecimentos que declaram valor de produção. Destaque deve ser dado a bovinocultura, com um rebanho de 172,7 milhões de cabeças, sendo que 1,17 milhão de propriedades rurais se dedicam à produção de leite (IBGE, 2019).

Um dos maiores problemas em confinamentos para bovinos de leite é a quantidade de dejetos produzidos diariamente. A disposição desses dejetos no interior das instalações tem sido um desafio, pois envolve vários aspectos, sendo eles técnicos, sanitários e econômicos (CAMPOS, 1997, CAMPOS et al., 2003; FRANCISCO et al., 2014).

Segundo Carvalho e Silva (2006), na maioria dos confinamentos, com sistemas de limpeza hidráulica dos resíduos, o consumo de água é de 200 a 250 litros por unidade animal por dia. A produção diária de dejetos dos bovinos leiteiros é de aproximadamente 45 a 48 kg·d<sup>-1</sup> por animal (em torno de 10% de seu peso corporal).

Segundo Erthal et al. (2010) se feita corretamente, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta poderá trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor. De acordo com Erthal (2008), cada litro de água residuária de bovinocultura de leite apresenta, em média, DQO de 16.539mg, 7.492mg de sólidos totais, 697mg de nitrogênio, 132mg de fósforo, 362mg de potássio, 156mg de cálcio + magnésio, 91mg de sódio, 1.347 mg de carbono total, 2,94mg de zinco, 1,38mg de cobre, apresentando pH igual a 7,84.

O lançamento direto de efluentes em corpos de água receptores deve atender a padrões estabelecidos pela legislação federal (Resolução CONAMA nº 357/2005, CONAMA 430/2011), que estabelece normas e padrões da qualidade das águas e lançamentos de efluentes nas coleções de água.

Diante da fiscalização realizada por órgãos públicos responsáveis e pelo impacto ambiental gerado pela disposição inadequada de águas residuárias, a busca por tratamentos, disposição e/ou reaproveitamento adequados desse resíduo se faz cada vez mais necessária (BARROS et al., 2005).

#### 2.1.1 Uso da ARB em cultivos agrícolas

Bastos (2003), se referindo especificamente sobre a utilização de esgoto sanitário para irrigação, hidroponia e piscicultura, afirma que os seguintes pontos positivos podem ser observados:

- É uma prática de reciclagem de nutrientes, levando à economia de insumos, por exemplo, fertilizantes e ração animal.
- Contribui para o aumento da produção de alimentos, a recuperação de áreas improdutivas e a ampliação de áreas irrigadas.
- Reduz o lançamento de esgotos em cursos de águas naturais, prevenindo a poluição, a contaminação e a eutrofização.
- Favorece a conservação do solo além da recuperação de áreas degradadas.

Porém, segundo o mesmo autor, devem ser considerados os aspectos negativos relacionados ao reuso de águas residuárias. Entre estes, destaca-se a presença de elevadas concentrações de sódio, cloretos e boro, e os riscos à saúde advindos da qualidade microbiológica das águas residuárias.

Uma das alternativas para a resolução do problema da disposição da ARB é o uso dessas águas em áreas agricultáveis. A utilização de ARB na fertirrigação de cultivos agrícolas pode promover melhoria nas propriedades químicas e físicas do solo, aumentar a produtividade das culturas, reduzir os custos de produção, além de reduzir os impactos gerados pela disposição inadequada das águas (BARROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006; MATOS, 2007). Todavia, o uso incorreto pode trazer efeitos danosos tanto ao solo quanto a cultura.

De acordo com estudos, o uso de águas residuárias na fertirrigação de culturas promoveu significativamente o aumento na produtividade agrícola, desde que estas culturas sejam adequadamente manejadas (ERTHAL, 2008; SOUZA et al., 2010; FREITAS et al., 2004). Segundo Erthal (2008) a utilização de ARB na fertirrigação de forrageiras propiciou maior absorção de nutrientes pelas plantas. Já Souza et al. (2010) trabalharam com água residuária da suinocultura na fertirrigação de pepineiros, e observam o aumento na área foliar e suprimento das necessidades nutricionais da cultura, resultando em frutos saudáveis do ponto de vista sanitário. Medeiros et al. (2008) estudaram a utilização de água residuária doméstica na fertirrigação do cafeeiro e observaram melhoria do estado nutricional do cafeeiro.

Monte e Albuquerque (2010), afirmam que a reutilização de águas residuárias deverá ter como base não apenas o conhecimento técnico e científico disponível, mas também deverá ter um adequado enquadramento institucional e regulador. Os autores comentam ainda que o apoio público a este reuso como parte de uma estratégia de gestão sustentável dos recursos hídricos é fundamental.

As características das águas residuárias que afetam o sistema solo-planta segundo Monte e Albuquerque (2010) podem ser observadas no Quadro 1:

**Quadro 1** – Características das águas residuárias que afetam o sistema solo-planta. (Continua)

<b>Características</b>	<b>Parâmetro de Avaliação</b>	<b>Efeito</b>
Salinidade / Sais Inorgânicos Dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade elétrica, Íons específicos (Na+1, Ca+2, Mg+2, Cl-1, B+3)	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de mudas de plantas; Alguns íons podem ser tóxicos para as plantas (Na+1, Cl-1, B+3); O Na+1 pode introduzir problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão	Sólidos suspensos totais (SST)	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de rega.
Matéria Orgânica biodegradável	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problema.
Compostos orgânicos refratários	Compostos específicos (fenóis, hidrocarbonetos, pesticidas, halogenados)	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos para as plantas – sua presença pode ser limitativa do uso da água residuária para rega.

**Quadro 1.** Continuação

<b>Características</b>	<b>Parâmetro de Avaliação</b>	<b>Efeito</b>
Nutrientes	N ( $N_{org} + N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3$ ), P, K	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas – sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicada em excesso pode causar contaminação das águas subterrâneas.
Atividade Hidrogeniônica	pH	O pH das águas residuárias afeta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn)	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais – podem constituir fator limitante ao uso de águas residuárias.
Cloro residual (Cl)	Cl livre e Cl combinado	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O Cloro combinado não tem problemas.
Organismos patogênicos	Coliformes termotolerantes, Helmintos e Organismos indicadores	Transmissão de doenças.

Fonte: Adaptado de Monte e Albuquerque (2010).

### 2.1.2 Conceito de risco e perigo

Um aspecto fundamental relacionado à utilização da água residuária em cultivos agrícolas está relacionado a sanidade, devendo ser considerado o risco de seu uso.

A conceituação de risco na área de Epidemiologia é complexa, variando com o tempo e com os autores (GUILAM, 1996). Bastos (2003) dividiu o conceito de risco em Epidemiologia em duas perspectivas, uma qualitativa e outra quantitativa, não necessariamente excludentes. Qualitativamente essa noção tem relação com a caracterização de relações entre a exposição a determinados agentes (químicos, físicos ou biológicos) e os potenciais danos causados à saúde humana, enquanto que quantitativamente a noção de risco traduz as relações caracterizadas em um valor numérico que, a partir da teoria das probabilidades, possibilita a quantificação ou previsão de eventos em saúde em uma população exposta. O mesmo autor diferencia o conceito de perigo do de risco. O primeiro pode ser entendido como algo que associado à determinado agente com características tóxicas ou infecciosas, pode vir a causar efeitos adversos à saúde (BASTOS, 2003). Logo, o uso de águas residuárias para irrigação, por si só, constitui um perigo, já que normalmente terão altas cargas de microrganismos patogênicos. Porém, se as águas residuárias receberem tratamento para remoção dos microrganismos, não haverá risco de infecção.

Ambos os conceitos integram a metodologia conhecida como Avaliação de Risco, a qual tem sido, ainda que incipientemente, utilizada no estabelecimento de critérios de qualidade de água para consumo humano e de efluentes para a irrigação (BEVILACQUA et al., 2002).

Monte e Albuquerque (2010) destacam alguns problemas relativos à utilização para a tomada de decisões na área de saúde, pois sempre será muito complicado definir a relação dose-resposta, bem como se a infecção foi originada de alguma outra fonte, que não a água.

Independentemente do uso da análise de risco, é importante conhecer os perigos que podem ser originados por determinados constituintes microbiológicos e químicos, presentes em concentrações mais ou menos elevadas, consoante o tratamento das águas residuais.

Arbos et al. (2010) determinaram a qualidade sanitária de hortaliças orgânicas em aspectos referentes à contaminação microbiológica e parasitológica de diversas verduras e legumes cultivados organicamente, oriundos da Grande Curitiba no Paraná. Foram avaliadas amostras de alface (*Lactuca sativa* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e cenoura (*Daucus carota* L.), foram detectados Salmonella, parasitas e coliformes termotolerantes nas amostras de alface e de cenoura. Para o tomate orgânico nenhum coliforme fecal e nem Salmonella sp foram detectados. Estes resultados mostraram que as mesmas foram contaminadas de alguma forma, mas não é possível confirmar se a contaminação ocorreu através da água de irrigação, pela presença de animais silvestres ou domésticos, se foi em função do solo contaminado ou devido ao emprego de adubos sem tempo de compostagem adequado. Segundo o autor, os resultados podem estar relacionados às diferenças estruturais dessas hortaliças analisadas e a proximidade maior ou menor das mesmas com o solo.

Souza et al. (2010) avaliaram os efeitos da aplicação da água residuária oriunda de uma suinocultura após filtragem (ARSF) nos condicionadores de qualidade de frutos de tomate de mesa. Os autores concluíram que a aplicação de ARSF não alterou as características de qualidade dos frutos de tomate e, para quaisquer lâminas aplicadas, resultou em frutos saborosos e saudáveis. Em todos os tratamentos, os frutos apresentaram condições satisfatórias para o consumo, com ausência de coliformes termotolerantes e salmonella sp, exigidos pela norma. A contagem de coliformes totais esteve abaixo do que é estabelecido pela legislação vigente para coliformes termotolerantes, o que é mais um indicativo de alto padrão sanitário do produto. Curiosamente, a contagem de coliformes totais foi influenciada pela proximidade dos frutos em relação ao reservatório de ARSF e não pelas lâminas aplicadas. Dessa forma, mesmo sem receber ARSF, os frutos produzidos no tratamento testemunha apresentaram maior contagem de coliformes termotolerantes.

### **2.1.3 Controle legislativo sobre o uso de água residuária em cultivos agrícolas**

Almeida (2011) afirma que devido à alta disponibilidade de água no Brasil, a população de uma forma geral, e também o poder público, não demonstram ter grande preocupação em relação ao consumo racional deste recurso precioso. A intensificação da urbanização e da industrialização criou ou pelo menos intensificou o problema de oferta e demanda de recursos hídricos. Neste cenário, destaca o autor, uma alternativa para a resolução deste impasse seria o reuso de águas residuárias. Porém, é necessário regulamentar essa prática para permitir que a mesma se desenvolva dentro de padrões legais e técnicos pertinentes, assegurando a saúde de usuários e promovendo paralelamente a preservação do meio ambiente.

A reutilização de água não é trivial. Cunha (2008) afirma que a prática do reuso demanda diversos cuidados ligados tanto à forma, quanto à destinação e aos padrões. Apenas para exemplificar a importância de cuidados com a água, segundo dados da OMS (WHO, 2014), aproximadamente 1,5 milhão de mortes por ano em todo o mundo são relacionadas a doenças diarreicas. Enfim, para que o reuso de água seja uma realidade, torna-se imprescindível que exista uma legislação que normatize a mesma baseada em conhecimentos técnicos profundos, de maneira a garantir os mínimos padrões de segurança à saúde e ao meio ambiente e, consequentemente eliminando o oferecimento de água não adequada em função da presença de poluentes de qualquer natureza.

De acordo com Almeida (2011) a prática do reuso ainda é bastante incipiente e pouco pesquisada. O autor considera que a experiência brasileira em reuso é mínima, que há pouca pesquisa e que o seu uso não é planejado e institucionalizado, em particular com relação aos

efluentes de esgoto tratado. Almeida (2011) concluiu o seu trabalho “Aspectos Legais para a Água de Reuso”, destacando que no Brasil, apesar de existirem muitas leis nas três esferas de poder que discursam sobre os recursos hídricos, falta a articulação e troca de experiências entre estes entes, a fim de que as políticas públicas elaboradas estejam integradas e complementares à Política Nacional, em busca de alternativas racionais para o uso da água.

Fora das nossas fronteiras, o departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia (EUA), publicou em 1978 uma norma regulamentadora denominada “Wastewater Reclamation Criteria”. Esta exigia que os efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE’s) que fossem reaproveitados para irrigação de culturas a serem consumidas por seres humanos contivessem número de coliformes termotolerantes menor que  $2,2 \text{ UFC} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ , já para o caso de cultivos destinados ao pastejo animal (especificamente o leiteiro), a água residuária não deveria conter mais de  $23 \text{ UFC} \cdot 100\text{mL}^{-1}$  (STATE OF CALIFORNIA, 1978).

Porém, posteriormente, realizaram-se estudos que evidenciaram que a transmissão de doenças originadas em função do uso de águas residuárias nas atividades agropecuárias, com base nos padrões microbiológicos adotados no estado da Califórnia, eram mais rígidos do que o necessário para se evitar riscos à saúde pública. Esse fato provocou gastos desnecessários no tratamento dos esgotos e, por fim, desestimulava o uso de águas residuárias. Então, considerando estes estudos epidemiológicos, em 1989 a OMS publicou as recomendações “Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture” nas quais os padrões microbiológicos mostrados no Quadro 2 foram sugeridos (WHO, 1989).

**Quadro 2** – Recomendações da Organização mundial de Saúde (OMS) relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto.

<b>Categoria</b>	<b>Condições de reuso</b>	<b>Grupo exposto</b>	<b>Ovos de helmintos·L<sup>-1</sup> (b)</b>	<b>UFC·100mL<sup>-1(c)</sup> (média geométrica)</b>
<b>A</b>	Irrigação de culturas que são ingeridas cruas, campos de esportes e parques públicos (a)	Trabalhadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1000
<b>B</b>	Irrigação de culturas não ingeridas cruas, como cereais para indústria, pastos, forragem e árvores (d)	Trabalhadores	≤ 1	Não se recomenda
<b>C</b>	Irrigação de culturas da categoria B, se o público e os trabalhadores não ficam expostos.	Nenhum	Não se aplica	Não se aplica

a) Em casos específicos, de acordo com os fatores ambientais, epidemiológicos, locais e socioculturais devem ser consideradas modificações das recomendações; b) Espécies dos nematoides: *Ascaris* e *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostoma duodenale*; c) durante o período de irrigação; recomendações mais rigorosas devem ser consideradas ( $\leq 200 \text{ UFC} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ) para gramados públicos com os quais o público tem contato direto; d) no caso de árvores frutíferas, a irrigação deve ser suspensa duas semanas antes da colheita, sem que sejam apanhados frutos do chão. Fonte: World Health Organization (1989).

Salienta-se que dos dois padrões estabelecidos pela OMS para a irrigação irrestrita ("menos que 1 ovo de nematóides intestinais por litro" e "menos que 1000 coliformes termotolerantes por 100mL"), o segundo é mais restritivo, a ponto de ser muitas vezes normal a inexistência de nematóides intestinais sempre que o número de UFC é de 1000/100mL (OLIVEIRA; SILVA; ATHAYDE JR, 1999).

Em 2003, foi lançada no Brasil, pelo CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), uma minuta de resolução, semelhante à recomendação da OMS (Quadro 2 acima). Esta minuta incentivava o reuso de águas de qualidade inferior e estabelecia padrões de qualidade dos efluentes em função do tipo de reuso pretendido, o que foi um grande passo no sentido de regulamentar a prática no Brasil. Entretanto, tal resolução nunca vigorou, e no ano de 2005 o órgão lançou a Resolução nº54. Esta incentivava a prática do reuso em diversas modalidades, mas não estabelecia parâmetros específicos para seu emprego. O CNRH incentiva discussões e estudos sobre o tema, por meio do grupo técnico GT-Reuso, composto por pesquisadores, técnicos e demais interessados no assunto.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) estabeleceu na Instrução Técnica 31 que efluentes cuja condutividade elétrica se encontrasse entre 0,75 e 2,9 dS·cm<sup>-1</sup> somente poderiam ser destinados para aplicação em solos que fossem bem drenados e destinados para o cultivo de espécies tolerantes a salinidade. A Instrução técnica 31 estabeleceu ainda as máximas concentrações permitidas para várias substâncias que são tóxicas a plantas sensíveis, como as frutíferas. Já para os parâmetros microbiológicos, que são o objeto desta revisão, os valores aceitos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos foram adotados com base na resolução da OMS (2006).

Além da legislação relacionada à água residuária em si, vale também lembrar que existe outra linha de legislação relacionada a critérios sanitários de segurança alimentar. A legislação brasileira (BRASIL, 2001) através da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, estabelece limites microbiológicos para coliformes termotolerantes e *Salmonella* sp. em hortaliças *in natura*. Segundo essa regulamentação, as hortaliças *in natura* podem apresentar até 102 NMP·g<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes e ausência de *Salmonella* sp.

Considerando a possibilidade de transmissão de organismos patogênicos, ainda são necessários estudos que confirmem a segurança do uso dessa prática em determinadas situações (BEVILACQUA E BASTOS, 2009).

## 2.2 Citronela

A espécie conhecida como capim citronela ocorre basicamente sob duas formas: sendo *Cymbopogon nardus* L., conhecida também como Lenabatu ou Citronela do Ceilão, e *Cymbopogon winterianus* Jowitt, conhecida como Maha pengiri ou Citronela de Java (SAHOO & DEBATA, 1995).

*Cymbopogon nardus* e *Cymbopogon winterianus* são espécies de citronela que podem ser cultivadas na maioria dos solos (desde que sejam porosos, férteis e bem drenados), podendo ser plantadas até mesmo em vasos, possuindo bom desenvolvimento em climas tropicais e subtropicais (CASTRO & RAMOS, 2002). O ambiente ideal para a produção é com luz intensa prevalecendo na maior parte do dia e temperaturas elevadas. A citronela não tolera frio. Dessa forma, à incidência de geada pode levar à morte da planta (MAGALHÃES, 2017). Assim torna-se possível cultivá-lo em diferentes regiões geográficas do Brasil, sendo produzida em grande parte do país, sendo que sua alta resistência ao ataque de pragas também favorece o cultivo (VARGAS et al., 2006).

Para o cultivo da citronela, a Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC (2004), recomenda a dose de Nitrogênio, em função do teor de Matéria Orgânica (Tabela 1):

**Tabela 1** – Recomendação de doses de Nitrogênio para o cultivo de citronela

Teor de Matéria Orgânica no solo (%)	Dose recomendada de N (kg·ha <sup>-1</sup> )
≤2,5	80
2,6 – 5,0	50
> 5,0	≤ 20

A citronela é um cultivo perene, sendo uma erva de colmos eretos, lisos, semi-lenhosos e de cor verde-clara, que chegam a medir até mais de um metro de altura, enquanto as folhas são planas e longas, mas de aspecto curvo, com 0,5 a 1 metro de comprimento, possuindo um odor característico. As raízes são longas e fibrosas (MAGALHÃES, 2017).

A propagação da citronela deve ser feita por meio dos perfilhos (ramos laterais). É recomendado o transplante durante os meses da primavera. As primeiras folhas podem ser colhidas a partir de 90 dias depois do transplante (MAGALHÃES, 2017). Estudos também mostram ser possível a produção da Citronela em consórcio com outros cultivos, como o algodão (BRANT et al., 2010; ROCHA et al., 2012).

A espécie *Cymbopogon nardus*, inicialmente era cultivada em maior escala do que a *Cymbopogon winterianus*. Entretanto, após a descoberta que essa última apresentava uma maior concentração de óleo, a citronela de ceilão foi sendo lentamente substituída (BREMNESS, 1993).

No capim citronela as folhas apresentam-se como a parte com maior valor econômico, pois é através delas que se é extraído o óleo essencial. O óleo extraído de suas folhas é rico em aldeído citronelal e possui também quantidades de geraniol, citronelol e ésteres (BARBOSA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010).

O óleo de Citronela apresenta propriedades que variam como antidepressivo, desodorizante, antisséptico, revigorante, germicida, refrescante, nevrálgico, repelente de insetos entre outros usos.

Diante de todas essas propriedades o óleo de citronela é empregado em diversas finalidades e produtos. Entre seus principais usos destacam-se uso em repelente de mosquitos (SOARES et al., 2010), para fins de perfumaria e cosméticos (FEPAGRO, 2003), na fabricação de velas, cremes e loções (CAMPOS et al., 2016). Algumas pesquisas confirmaram também a ação carrapaticida dessa planta (OLIVO et al., 2008), bem como a ação inibidora de fungos (BRUM et al., 2014; CAPOCI et al., 2015) nematóides (MOREIRA et al., 2015) e inseticida (COLPO, JAHNKE & FÜLLER, 2014). Na medicina popular, a citronela é utilizada como sedativo, calmante, anti-inflamatório, antirreumático (CASTRO et al., 2007; CASTRO et al., 2010; MEDEIROS & CRISOSTIMO, 2013).

Além das aplicações citadas, a citronela é também utilizada na culinária chinesa e seu bagaço é aproveitado na produção de ração animal, proporcionando aumento na imunidade dos animais que se ingerem este bagaço consequentemente desenvolvem uma maior resistência a doenças (FEPAGRO, 2003).

Em 22 de junho de 2006 foi publicado o decreto 5813 que aprova a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos e dá outras providências (BRASIL, 2006). Sobre esta, Oliveira et al (2006) destacam a importância de normas que reduzam as incertezas e inseguranças relacionadas a produção, uso e comercialização de plantas medicinais, isto é, uma vez que existam normas claras e objetivas, empresas farmacêuticas de todos os portes se sentiriam seguras para investir no enorme potencial existente. Os autores afirmam ainda que este investimento deve passar necessariamente por pesquisas que vão desde as técnicas

agronômicas relacionadas a produção, técnicas de extração dos elementos ativos, passando pelos ensaios farmacológicos e a comercialização.

Mais recentemente, Borges e Sales (2018) afirmam que apesar do incremento observado nas políticas públicas voltadas à fitoterapia que permitiram, em diversos locais, o acesso a programas desta natureza na atenção básica a saúde, ainda observam um uso incipiente da mesma, especialmente no Sistema Único de Saúde (SUS). Os mesmos afirmam ainda que se deve focar permanentemente em novas pesquisas para referenciar e embasar o trabalho de gestores, legisladores, da própria população e outros pesquisadores para, desta forma, direcionar o avanço das políticas públicas de saúde no Brasil.

Existem diferentes métodos de extração do óleo essencial da Citronela, porém pode-se citar os seguintes métodos mais utilizados: Destilação fracionada, Destilação por arraste de vapor e extração por solventes.

A Citronela é considerada como meio natural e eficaz no combate ao mosquito *Aedes Aegypti*. O óleo essencial presente na planta é rico em geraniol e citronelal, que afugenta os insetos, prevenindo assim o risco de adquirir não somente a Dengue, mas também o Zika Vírus, que também é transmitido pelo *Aedes Aegypti* (MALUF, 2008; GIOPO; SILVA; BARRA, 2006).

Rocha et al. (2000) ao avaliarem diferentes temperaturas de secagem (30, 40, 50, 60 e 70°C) no rendimento e na composição do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*), só obtiveram perdas no teor do óleo essencial a partir de 60°C, temperatura considerada mais adequada para secagem do capim citronela por demandar menor tempo de secagem em relação às temperaturas mais baixas. Os autores observaram também que a composição química do óleo essencial da citronela foi alterada em função da temperatura de secagem.

### **2.3 Nutrição Mineral**

A nutrição mineral é imprescindível para a produtividade agrícola e proteção das plantas, abrangendo como estas adquirem e usam os nutrientes minerais (TAIZ e ZEIGER, 2004). Considera-se uma planta bem nutrida quando a mesma “tem à sua disposição todos os nutrientes que necessita para formar as substâncias próprias à espécie e à variedade” (PRIMAVESI, 2002).

Há elementos minerais que são essenciais para a nutrição vegetal, ou seja, sem os quais a planta não completa seu ciclo de vida pois possuem função específica e não podem ser substituídos. Assim, esses elementos estão diretamente envolvidos no metabolismo da planta, sendo parte de um constituinte essencial ou exigido para um passo metabólico específico (FURLANI, 2012). Dentre os elementos minerais, de acordo com Furlani (2012), há 14 comprovadamente essenciais, sendo alguns exigidos em maiores quantidades, os macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), e outros em menores quantidades, os micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco). Carbono, hidrogênio e oxigênio também são elementos essenciais, mas que são retirados principalmente do ar e do solo, na forma de dióxido de carbono e água (FURLANI, 2012).

Para que uma planta possa absorver os nutrientes do solo é necessário que estes estejam em forma assimilável, que possam ser alcançados pela raiz, que estejam dissolvidos em água, considerando o movimento que estes elementos fazem em direção à raiz, e o vigor e força desta pela máxima fotossíntese possível da planta (PRIMAVESI, 2002). A corrente de transpiração transporta pelo xilema os nutrientes minerais das raízes para a parte aérea da planta, sendo essa absorção e transporte processos altamente específicos e bem regulados, como destaca Taiz e Zeiger (2004).

Portanto, condições ambientais e de manejo interferem na absorção de nutrientes pelas plantas (CHABOUSSOU, 2006), e assim sendo, são diversos os fatores que afetam a absorção, tais como:

i) Disponibilidade de nutrientes: para que possam ser assimilados pelas plantas, os nutrientes têm que estar em quantidades suficientes no solo e em forma aproveitável pelos vegetais (PRIMAVESI e PRIMAVESI, 2018);

ii) Potencial hidrogeniônico (pH): o pH afeta a disponibilidade de todos os nutrientes minerais e assim, dependendo da faixa de pH, alguns nutrientes podem estar mais ou menos disponíveis. O pH afeta o crescimento das raízes, que normalmente é favorecido em solos levemente ácidos, e também interfere nos organismos predominantes no solo, sendo maior a presença de fungos em solos ácidos e de bactérias em solos alcalinos (TAIZ e ZEIGER, 2004);

iii) Mineralização: por este processo, os nutrientes são disponibilizados para as plantas. A mineralização é o processo de degradação de compostos orgânicos que ocorre normalmente sob a ação de microrganismos, dependendo do tipo e número destes presentes, tendo interferência de outros fatores, tais como a temperatura, disponibilidade de água e oxigênio, disponibilizando os nutrientes para as plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004);

iv) Tipo de solo: partículas do solo carregadas negativamente afetam a adsorção de nutrientes. Deve-se ressaltar que as partículas do solo, orgânicas ou inorgânicas, têm predominantemente, cargas negativas em sua superfície. Desta forma, os cátions ficam adsorvidos à superfície do solo e podem ser substituídos por outros cátions pelo processo de troca catiônica. Solos com alto poder de troca catiônica tendem a apresentar maior reserva de nutrientes (TAIZ e ZEIGER, 2004); e

v) Presença de micorrizas: essa associação mutualista entre fungos e raízes faz com que plantas micorrizadas possuam maior capacidade de absorção, acumulando maiores quantidades e diversidade de macro e micronutrientes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A absorção de nutrientes sempre é correlacionada com a produção. Sendo assim, em sistemas agrícolas de alta produtividade pode ocorrer significativa remoção de nutrientes do solo para a planta e haver a necessidade de adição destes por meio de algum fertilizante, visto que considerável fração da biomassa da cultura é retirada da área de cultivo (PRIMAVESI, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Tão importante como identificar os nutrientes a serem fornecidos para o desenvolvimento da cultura é a forma como estes serão disponibilizados. Chaboussou (2006) ressalta que a natureza dos adubos aplicados aos cultivos influencia tanto no seu valor nutricional quanto na resistência destas a pragas e doenças. O autor destaca que a adubação orgânica fornece à planta substâncias de crescimento, compensando os nutrientes limitantes, aumentando o nível de respiração e de clorofila. Fertilizantes orgânicos são originários de resíduos vegetais ou animais ou de depósitos naturais de rochas (TAIZ e ZEIGER, 2004). Chaboussou (2006) comparando a adubação química com a orgânica ressalta que a primeira aumenta o teor de água nos tecidos, enquanto a segunda, considerando o uso de esterco, aumenta o teor de matéria seca, quase duplicando. Primavesi e Primavesi (2018) ainda ressaltam que a planta precisa desenvolver o seu sistema radicular e deve haver umidade no solo para que o adubo químico seja assimilado pelos vegetais, ressaltando que além de saber quais são os elementos minerais que não estão presentes no solo é necessário saber como é a bioestrutura do solo e como adubar.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. G. **Aspectos Legais para a Água de Reuso**. VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio/ago. 2011.
- ARBOS, K. A., R.J., FREITAS, STERTZ, S. C., CARVALHO, L. A. **Segurança alimentar de hortaliças orgânicas: aspectos sanitários e nutricionais**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(Supl.1): 215-220, maio 2010.
- BARBOSA, L. C. A.; PEREIRA, U. A.; MARTINAZZO, A. P.; MALTHA, C. R. A.; TEIXEIRA, R. R.; MELO, E. C. **Evaluation of the chemical composition of Brazilian commercial *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf samples**. Molecules, Basel, v. 13, p. 1864-1874, 2008.
- BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J.C. L.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. **Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.47-51, 2005.
- BASTOS, R.K.X.; ANDRADE NETO, C.O.; CORAUCCI FILHO, B. & MARQUES M.O. Introdução In: Bastos RXX (Org.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura**. São Carlos, RiMa Artes e Texto. p. 1-22. (Projeto PROSAB). 2003.
- BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos sanitários para produção de alimentos para animais: aspectos sanitários e produtivos**. Revista Ceres, Viçosa, v. 56(4), p. 480-487, 2009.
- BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; OLIVEIRA, A. A.; VIEIRA, M. B. M.; BRITO, L. A. **Densidade de Giardia e Cryptosporidium em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardíase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco**. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVIII, Cancún, México. Anais... México, D.F: AIDIS, 2002.
- BORGES, F. V.; SALES, M. D. C. **Políticas públicas de plantas medicinais e fitoterápicos no Brasil: sua história no sistema de saúde**. Revista Pensar Acadêmico, v. 16, n. 1, p. 13-27, 2018.
- BRANT, R.S.; CORSATO, C.D.A; GIUSTOLIN, T.A.; LEITE, A.R.; ROCHA, H.C.R; ALBUQUERQUE, C.J.B. **Crescimento de citronela cultivada em consórcio com algodão colorido em sistema orgânico**. Horticultura Brasileira 28: S3246- S3249. 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre Padrões microbiológicos para alimentos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, jan. 2001
- BRASIL. **Decreto Nº 5.813, de 22 de junho de 2006. Aprova a Política Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos e dá outras providências**. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5813.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5813.htm). Acessado em: 10 ago. 2019.

BREMNESS, L. **Plantas Aromáticas**. São Paulo: Civilização, 1993.

BRUM, R.B.C.S.; CASTRO, H.G. CARDON, C.H.; PEREIRA, A.S.; CARDOSO, D.P.; DOS SANTOS, G. R. **Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos**. Magistra, Cruz das Almas – BA, V. 26, n.3, p. 361 - 371, Jul./Set. 2014.

CAMPOS, A. T. de. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite**. 1997. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. CAMPOS, D.S.; PIRES, M.F.F.A. **Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite**. Circular Técnica 75 - EMBRAPA. Juiz de Fora/MG. 10p. 2003.

CAMPOS, D.; ALVARENGA, J.; VIANA, E.; BISPO, S. **Rebolex. 56° Congresso Brasileiro de Química - 56° CBQ**. Química: Tecnologia, Desafios e Perspectivas na Amazônia. 7 a 11 de novembro de 2016. Belém/Pará. ISBN 978-85-85905-19-4. 2016.

CAPOCI, I.; CUNHA, M. M.; BONFIM-MENDONÇA, P.; GHIRALDI-LOPES, L.; BAEZA, L.; KIOSHIMA, E.; SVIDZINSKI, T. **Antifungal activity of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle (citronella) against microsporum canis from animals and home environment**. Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, São Paulo, v. 57, n. 6, p. 509-511, 2015.

CARVALHO, H. P.; SILVA, I. J. O. **Metais pesados presentes na água residuária de sistema de exploração leiteira do tipo "freestall"**. Revista Eletrônica Thesis, São Paulo, v. 6, p. 1-8, 2006.

CASTRO L.O.; RAMOS E.L.D. **Principais gramíneas produtoras de óleos essenciais: *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf., capim-cidró, *Cymbopogon martinii* (Rox.) J.F. Watson, palma-rosa, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, citronela, *Elyanurus candidus* (Trin.) Hack, capim-limão, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, vetiver**. Porto Alegre: FEPAGRO. 31p. (Boletim FEPAGRO 11). 2002.

CASTRO, H.G.; BARBOSA, L.C.A.; LEAL, T.C.A.B.; SOUZA, C.M.; NAZARENO, A.C. **Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.)**. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu, v. 9, p. 55-61, 2007.

CASTRO, H.G.; PERINI, V.B.M.; SANTOS, G.R. dos; LEAL, T. C.A.B. **Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, p. 308-314, 2010.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: Novas bases de uma prevenção contra doenças e parasitas - A teoria da trofobiose**. São Paulo: Editora Popular, 2006. 323 p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

COLPO, J.F.; JAHNKE, S.M.; & FÜLLER, T. **Potencial inseticida de óleos de origem vegetal sobre *GrapHolita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae)**. Rev. Bras. Pl. Med., Campinas, v.16, n.2, p.182-188, 2014.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. Ed. Porto Alegre, 2004.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reuso urbano**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental, 2008.

ERTHAL, V.J.T. **Fertirrigação de capim-Tifton 85 e aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas plantas**. Viçosa, MG: p. 84. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. **Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p.467-477, 2010.

FEPAGRO. **Boletim Técnico da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária**. n. 11, mar. 2003.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. Ciênc. agrotec. vol.38, n.2, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>. Acessado em: 10 ago. 2019.

FRANCISCO, J.F; SILVA, L.D.B, SILVA, J. B.G.; VELASCO, T.S.; SILVA, R.B. **Evaluation of the effect of the seed extract of *Moringa oleifera* Lam over the efficiency of organic filters in wastewater treatment of dairy cattle breeding**. Engenharia Agrícola vol.34 n.1 Jaboticabal Jan./Feb. 2014.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. **Efeito da aplicação de águas residuárias da suinocultura na produção do milho para silagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100018>. Acessado em: 7 out. 2019.

FURLANI, A. M. C. **Nutrição mineral**. In: p. 40-75. KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 2ª edição, 2012. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452 p.

GIOPPO, C.; SILVA, R.V.; BARRA, V.M.M. **A avaliação em ciências naturais no ensino fundamental**. Curitiba: Ed. UFPR, 2006. Disponível em: [http://www.jardineiro.net/banco/cymbopogon\\_citrusus.pHp](http://www.jardineiro.net/banco/cymbopogon_citrusus.pHp). Acessado em 7 out. 2019.

GUILAM, M.C.R. **O CONCEITO DE RISCO - Sua utilização pela Epidemiologia, Engenharia e Ciências Sociais**. 18p. Julho de 1996. Disponível em: <http://www.ensp.fiocruz.br/projetos/esterisco/>. Acesso em 5 ago. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Censo Agropecuário: 2017**. Rio de Janeiro, v.8, p.1-105, 2019.

LEE, G.; LIFESON, A.; PEART, N.; TALBOT, P. **Closer to the heart**. In: LEE, Geddy. Exit...Stage Left - Live Album. XXX: Mercury Records, 1981. 1 CD. Faixa 5.

MAGALHÃES, P. M. **Como plantar citronela**. 2017. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2018/05/como-plantar-citronela.html>. Acessado em: 15 out. 2019.

MALUF, S. **Óleos essenciais repelindo insetos e atuando no combate à dengue de maneira natural**. Out. 2006. Disponível em: [http://www.aromaterapiacursoonline.com.br/externa\\_noticias.pHp?id=8](http://www.aromaterapiacursoonline.com.br/externa_noticias.pHp?id=8). Acessado em 7 out. 2019.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 142 p. (Caderno Didático n. 38).

MEDEIROS, E.T. O.; & CRISOSTIMO, A. L. **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE Produções Didático-Pedagógicas**. Volume II. A Importância da Aprendizagem das Plantas Medicinais no Ensino da Botânica (Apostila - ISBN 978-85-8015-075-9). Paraná. 2013, 45 p.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. F.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. **Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n 2, p.109-115, 2008.

MONTE, H. M., ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Série Guias Técnicos n. 14. Lisboa. 319p. Lisboa. 2010.

MOREIRA, F. J.C.; SANTOS, C.D.G.; INNECCO, R.; DA SILVA, G. S. **Controle alternativo de nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo**. Summa Phytopathologica, v.41, n.3, p.207-213, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: editora UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, Andrezza Beatriz et al. **A Normatização Dos Fitoterápicos No Brasil. Visão Acadêmica**, [S.l.], dez. 2006. ISSN 1518-8361. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/9042/6320>. Acesso em: 20 jan. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/acd.v7i2.9042>.

OLIVEIRA, M. M. M., BRUGNERA, D. F., CARDOSO, M. das G.; ALVES, E.; PICCOLI, R. H. **Disinfectant action of *Cymbopogon sp.* essential oils in different phases of biofilm formation by *Listeria monocytogenes* on stainless steel surfasse.** *Food Control, Reading*, v. 21, n. 4, p. 549-553, 2010.

OLIVEIRA, R.; SILVA, J. B. P.; ATHAYDE JR, G. B. et al, **Velocidade de remoção de coliformes fecais em um reservatório de estabilização alimentado com esgoto doméstico bruto.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20. Rio de Janeiro, Anais. ABES: Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM, 1999.

OLIVO, C. J.; MADRUGA C. N.; SOUZA S. J. H.; FLORES VOGEL, F.; MASSARIOL, P.; MEINERZ, G.; AGNOLIN, C.; FARIAS M. À.; VIAU, L. V. **Óleo de citronela no controle do carrapato de bovinos.** *Ciência Rural*, vol. 38, núm. 2, pp. 406-410. Março-abril, 2008.

PRIMAVESI, A.; PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal e deficiências minerais em culturas: nutrição e produção vegetal.** São Paulo: Expressão popular, 2018. 608 p.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 2002. 541 p.

ROCHA, H.C.R., ALVARENGA, C.D., GIUSTOLIN, T.A., BRANT, R.S., SOUZA, M.D.C., SARMENTO, H.G.S., & BARBOSA, M.G. **Crescimento, produção de fitomassa e teor de óleo essencial de folhas de capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) em cultivo consorciado com algodoieiro colorido no semiárido mineiro.** *Rev. Bras. Plantas Med., Botucatu*, v. 14, n. spe, p. 183-187, 2012.

ROCHA, S. F. R., MING, L. C., MARQUES, M. O. M. **Influência de cinco temperaturas de secagem no rendimento e composição do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowit).** *Rev. Bras. Plant. Med.*, v. 3, n. 1, p. 73-8, 2000.

SAHOO, S.; DEBATA, B. K. **Recent advances in breeding and biotechnology of aromatic plants: *Cymbopogon* species.** *Plant Breeding Abstracts*, v. 65, n. 12, 1995.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. **Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas Características químicas do solo.** *Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v.14 n.1, 32-38, 2006.

SOARES, C.R.; CESAR E.R.M.M.; CARDOSO, L.E.; CARDOSO, M.A.G.; RAFAEL, J.A.; ARAKAWA N.S. **Extração do óleo essencial de citronela e avaliação na incorporação e duração de sua essência em aromatizadores ambientais.** XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 21-22 oct 2010. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2010/anais/arquivos/RE\\_0851\\_1047\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/RE_0851_1047_01.pdf). Acessado em: 12 ago. 2019.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; COELHO, D. F. **Crescimento e desenvolvimento de tomateiro fertirrigado com água residuária da suinocultura.** Revista Ambiente & Água, v. 5, p. 144-157, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.144>. Acessado em: 12 ago. 2019.

STATE OF CALIFORNIA. **Wastewater Reclamation. An excerpt from the California Code of Regulations**, Title 22, Division 4, Environmental Health, Department of Health Services, Berkeley, CA. 1978.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed, Porto Alegre: Artmed. 2004. 722 p.

VARGAS, R.M.F.; CASSEL, E.; SOUZA, C.C. **Experiments and modeling of the *Cymbopogon winterianus* essential oil extraction by steam Distillation.** Journal of the Mexical Chemical Society, v.50, p.126-9, 2006.

WHO. **Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in low-and middle-income countries.** Geneva: *World Health Organization*, 2014.

WHO. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture.** *Technical Report Series 778.* Geneva: *World Health Organization*, 1989.

## **4. CAPÍTULO I**

### **APROVEITAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA NO CULTIVO DE CITRONELA: EFEITOS NA ATIVIDADE FOTOQUÍMICA E NA BIOMASSA**

**Título resumido: ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA NO CULTIVO DE CITRONELA**

**USE OF WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE IN CITRONELLA CULTIVATION: EFFECTS ON PHOTOCHEMICAL ACTIVITY AND BIOMASS**

**Short title: USE OF WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE IN CITRONELLA CULTIVATION**

Artigo Formatado de Acordo com a Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Artigo Aceito), adaptado à Norma do PPGCTIA/UFRRJ.

HAMACHER, L.; HÜTHER, C.; SILVA, L.; CARMO, D.; COUTADA, J.; SCHTRUK, T.; PEREIRA, C.; CECCHIN, D.; MACHADO, T.; PINHO, C. Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na atividade fotoquímica e na biomassa. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 53, p. 117-133, 3 fev. 2020.

#### 4.1 RESUMO

Águas residuárias de bovinocultura leiteira (ARB) são alternativas para fornecer os nutrientes minerais, reduzindo o uso de fertilizantes. Assim, avaliou-se a resposta da atividade fotoquímica e o ganho de biomassa em citronela sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de ARB. O nitrogênio foi o elemento de referência a partir do qual calculou-se a quantidade de ARB equivalente a ser aplicada. Assim, as doses de nitrogênio aplicadas via ARB foram de 100%, 200% 300% e 400% em relação à adubação mineral utilizada no controle. Fluorescência da clorofila *a*, pigmentos e massa seca foram analisados. Verificou-se que a resposta da citronela às doses de ARB aplicadas foi tempo-dependente e a energia que foi absorvida pelos fotossistemas foi utilizada para redução dos aceptores finais na cadeia de transporte de elétrons, promovendo em todas as doses, uma melhor eficiência fotoquímica, mas, isso não refletiu no ganho de biomassa, principalmente das folhas.

**Palavras-chave:** *Cymbopogon nardus* L. Fluorescência clorofila *a*. Nitrogênio. Fertirrigação.

## 4.2 ABSTRACT

Dairy cattle wastewater (ARB) is an alternative to provide mineral nutrients, reducing the use of fertilizers. Thus, the response of photochemical activity and biomass gain in citronella under different nitrogen doses applied via ARB slides were evaluated. Thus, nitrogen rates applied via ARB were 100%, 200% 300% and 400% in relation to mineral fertilization used in the control. Chlorophyll *a* fluorescence, pigments and dry mass were analyzed. The response of the citronella to the doses of ARB was time-dependent and the energy that was absorbed by the phosphosites was used to reduce the final acceptors in the electron transport chain, promoting better photochemical efficiency at all doses, but, this did not reflect in the biomass gain, mainly of the leaves.

**Keywords:** *Cymbopogon nardus* L. Chlorophyll *a* fluorescence. Nitrogen. Fertigation.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A citronela (*Cymbopogon nardus*), pertencente à família Poaceae, é originária do continente asiático, particularmente do Sri Lanka (antigo Ceilão) e sul da Índia. É amplamente utilizada como planta aromática, com usos terapêuticos, perfumarias e atividade biocida (TRONGTOKIT et al., 2005; CASTRO et al., 2007; VELOSO et al., 2012; GUPTA et al., 2018). Vários autores abordam que as principais substâncias presentes no óleo essencial da citronela são citronelal, geraniol e o citronelol (AGNOLIN et al., 2010; ANDRADE et al., 2012; VELOSO et al., 2012; VENTER et al., 2014).

Óleos essenciais são produtos aromáticos de metabolismo secundário de plantas, normalmente produzidos por células secretoras ou grupos de células, sendo encontrados em diversas partes do vegetal, como folhas e talos (SCHERER et al., 2009; GUPTA et al., 2018; FEISTHER et al., 2019).

As plantas em geral, respondem às variações ambientais, apresentando modificações no seu metabolismo, tanto primário quanto secundário. As medicinais, mais especificamente, podem alterar a composição de seus princípios ativos, que são importantes substâncias que desempenham inúmeras funções, entre elas a de defesa do vegetal (ALMEIDA & RODRIGUES, 2016; ARNAO & HERNÁNDEZ-RUIZ, 2019; COELHO et al., 2019; FARHANGI-ABRIZ & GHASSEMI-GOLEZANI, 2019). Muitas dessas substâncias apresentam elevado valor comercial, dentre elas, os óleos essenciais produzidos pela citronela (DAFLON et al., 2019; GUPTA et al., 2018; FEISTHER et al., 2019).

Dessa forma, diversos trabalhos demonstram como as plantas medicinais, sob diferentes tratamentos, podem ser responsivas aos fatores abióticos e bióticos (MALEKI et al., 2017; NETSHILUVHI & ELOFF, 2019; TAKSHAK & AGRAWAL, 2019), estressantes ou com efeito benéfico ao metabolismo das plantas (MA et al., 2019; REZAEI et al., 2019). No entanto, o metabolismo primário, como por exemplo, a atividade fotossintética, requer vários fatores essenciais, em concentrações adequadas e taxas constantes, para que ocorra de forma satisfatória e produza melhores resultados (FARZADFAR et al., 2019; LU et al., 2019; LUO & ZHOU et al., 2019; WU et al., 2019).

Dentre esses recursos essenciais para o desenvolvimento adequado do vegetal está a nutrição mineral. Quando o cultivo é feito em solo, a nutrição é dependente deste. No entanto, de acordo com a região, os solos são geralmente lixiviados e ácidos, o que resulta em baixa fertilidade (CHEN et al., 2019; HONG et al., 2019; LI et al., 2019). A busca de informação sobre o efeito de nutrientes no desenvolvimento das plantas vem desde a época em que foi observado que a adição de esterco e restos de animais, promovia o aumento na produtividade das culturas (FONTES, 2014).

Dejetos de bovinos contêm quantidades significativas de nitrogênio e fósforo. Por isso, o manejo inadequado dos mesmos pode causar eutrofização dos corpos de água e poluição do solo. Porém, o correto manejo destes resíduos estabilizados traz benefícios ao solo, à cultura e possibilita a redução do uso de fertilizantes químicos convencionais (MACIEL et al., 2019), além de fornecer destinação adequada.

Tradicionalmente, a adubação do solo é realizada via fonte mineral, tendo como principais elementos: o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Esses são os nutrientes mais exigidos para as culturas, tendo grande significado para a produtividade e consequente retorno econômico (HAFEEZ et al., 2018). A nutrição vegetal também pode ser realizada via fonte orgânica, sendo a ARB uma alternativa. O referencial para a definição das taxas de aplicação de águas residuárias na nutrição vegetal deve ser calculado em função da capacidade do sistema solo-planta em absorver o resíduo aplicado, sem comprometer a qualidade do solo, da planta e das águas subterrâneas (ERTHAL et al., 2010; MACIEL et al., 2019).

As águas residuárias de bovinocultura possuem potencial poluidor quando são mal descartadas. Dessa forma, sua aplicação para a fertirrigação em diferentes culturas tem se tornado objeto de estudo e, quando bem planejada, apresenta benefícios como a redução do uso de fertilizantes e dos custos de tratamento, além de ser fonte de nutrientes e água para as plantas (ERTHAL et al, 2009).

Diferentemente dos limites estabelecidos em legislação para os teores de nitrogênio que podem ser lançados via efluente em corpos hídricos (CONAMA, 2011), não há uma legislação específica para a disposição no solo (MATOS, 2006). Ainda, segundo o mesmo autor, as pesquisas têm apontado que, apesar do potencial poluidor relacionado ao lançamento de efluentes com altas concentrações de material orgânico no solo, o desenvolvimento de tecnologias para liberação do nitrogênio no ambiente pode tornar o uso destes resíduos/nutrientes fundamental na agricultura moderna. Como exemplo Silva (2012), demonstrou que a ARB pode substituir em parte o uso de torta de mamona com fonte de N na cultura da figueira sem prejudicar o solo, enquanto Jorge (2018), avaliando doses de ARB de até 300% da dose de referência de N recomendada obteve resultados positivos e acima da média de produção nacional tanto para alface quanto para cenoura. Paralelamente, a redução da oferta hídrica para os mais diversos fins tem estimulado a busca por técnicas mais racionais de uso da água bem como a identificação de fontes alternativas (ALVES et al., 2018).

Sendo assim, é importante verificar como diferentes níveis de nutrição mineral, a exemplo da oriunda da utilização de ARB, podem contribuir para a produção vegetal e como a cultura responde a esse fator. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a resposta da atividade fotoquímica em citronela sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas ARB, bem como o ganho em biomassa vegetal.

#### 4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de março e novembro de 2017, na área experimental “Banco Ativo de Germoplasma”, no Campus Gragoatá, da Universidade Federal Fluminense, cujas coordenadas são latitude de 22°54'00” S, longitude de 43°08'00” W e altitude de 8 m. Climaticamente a região possui clima Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima tropical com inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 23 °C e precipitação média anual de 1.200 mm.

As mudas de capim citronela, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, pertencente à família Poaceae, foram adquiridas no Centro de Abastecimento do Estado da Guanabara (Cadeg), na cidade do Rio de Janeiro, com aproximadamente 20 cm de altura e permaneceram por um mês na casa de vegetação para aclimação das mudas às condições de iluminação, umidade relativa e temperatura local. Antes do transplante para vasos de polietileno de 18 L, foi realizada uma poda na parte aérea para uniformização das plantas. As mudas foram transplantadas para os vasos no dia 11 de março de 2017. Os vasos foram dispostos na casa de vegetação, em uma área de 112,0 m<sup>2</sup> e com cobertura de plástico agrícola de 150µm além de sombrite com nível de 50% de sombreamento nas laterais e na cobertura. Os vasos foram dispostos com espaçamento entre linhas de 1,0m e entre vasos de 0,50m.

Para garantir uma boa drenagem, colocou-se de 2 a 3cm de brita 0 (zero) no fundo dos vasos e as mesmas foram cobertas com uma manta geotêxtil. O solo utilizado foi classificado como textura arenosa, segundo análise físico-química realizada pelo Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, segundo métodos descritos em EMBRAPA (1997). Foi aplicado calcário agrícola dolomítico PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) 85,0 %, na proporção de 210 g·m<sup>-2</sup> para a correção de acidez após análise de solo. A homogeneização foi realizada manualmente em recipiente contendo o solo e os vasos tiveram 45 dias de repouso antes do plantio.

No dia em que as mudas foram transplantadas para os vasos realizou-se a adubação de fósforo e potássio com a aplicação de K<sub>2</sub>O (óxido de potássio), teor de 60,00 % - 10 g·planta<sup>-1</sup>, e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfósforo simples), teor de 18 % - 37 g·vaso<sup>-1</sup>, respectivamente, seguindo os resultados da análise de solo e as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004) para a adubação mineral da citronela.

A primeira aplicação de ARB foi realizada no dia 29 de maio de 2017 e a partir de então, uma vez por semana. A ARB utilizada neste experimento foi preparada a partir de material *in natura* (fezes e urina de bovinos) coletada após a raspagem de um curral de propriedade particular, localizado no bairro de Monjolos, município de São Gonçalo-RJ. Para manter as condições apresentadas por Erthal et al. (2010) e, com a preocupação de ter um volume final a ser aplicado compatível, misturou-se 70 % de água sem cloro com 30 % de esterco fresco para preparo da ARB utilizada no experimento. A caracterização da água residuária envolveu os parâmetros pH, condutividade elétrica, sólidos totais, DQO, DBO, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, fósforo total, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, sendo que o pH da água encontrado foi de 6,51 de acordo com o método ABNT NBR: 1986.

O cálculo para determinação da lâmina de ARB equivalente à dose de Nitrogênio recomendada para o cultivo da citronela foi de acordo com Matos (2006), além da referência da dose de Nitrogênio necessária para o cultivo da citronela (SBCS, 2004), conforme equação 1:

$$TA_{AR} = 1000 \cdot \frac{\left[ N_{abs} - \left( T_{m1} \cdot MO \cdot \rho \cdot 10^7 \cdot 0,05 \cdot \frac{n}{12} \right) \right]}{\left[ T_{m2} \cdot N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nitrato})TR \right]}$$

Em que:

$TA_{AR}$  = taxa anual de aplicação,  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;

$N_{abs}$  = absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada,  $kg \cdot ha^{-1}$ ;

$T_{m1}$  = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$MO$  = conteúdo de matéria orgânica do solo,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$\rho$  = massa específica do solo,  $ton \cdot m^{-3}$ ;

$n$  = número de meses de cultivo da cultura;

$T_{m2}$  = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico,  $kg \cdot kg^{-1} \cdot ano^{-1}$ ;

$N_{org}$  = nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $mg \cdot L^{-1}$ ;

$N_{amoniacal}$  = nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $mg \cdot L^{-1}$ ;

$N_{nitrato}$  = nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $mg \cdot L^{-1}$ ; e

$TR$  = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura,  $kg \cdot kg^{-1} \cdot ano^{-1}$ .

Os tratamentos aplicados estão apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Tratamentos avaliados no experimento com ARB.

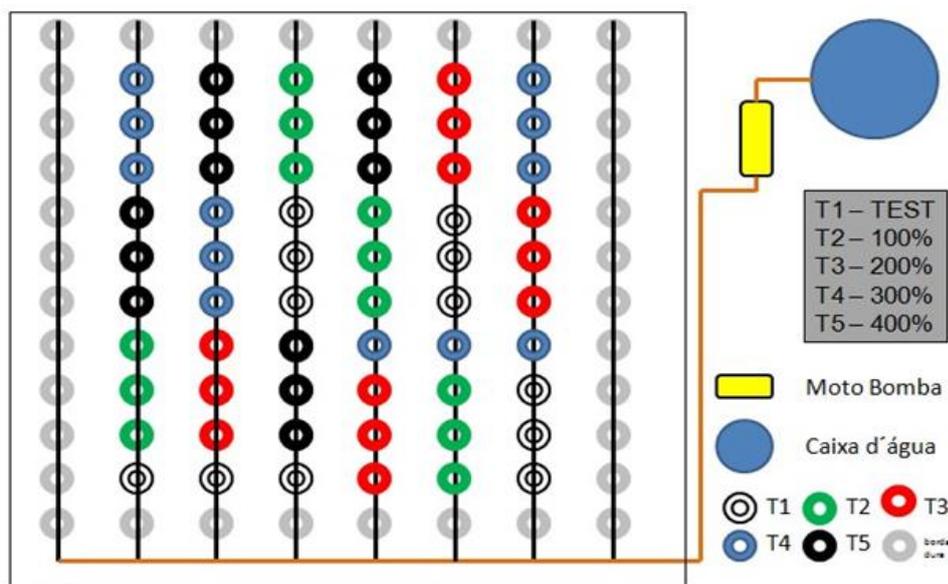
TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
<b>T1 - (Testemunha)</b>	100% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral;
<b>T2</b>	100% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB;
<b>T3</b>	200% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB;
<b>T4</b>	300% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB;
<b>T5</b>	400% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB.

Os percentuais de aplicação da lâmina de ARB foram definidos a partir da lâmina calculada (T2) e os demais visando maior volume de uso da água residuária, potencializando o reuso da mesma. Para todos os tratamentos foi aplicada a adubação mineral complementar de Fósforo e Potássio. A dose de N aplicada foi de  $80kg \cdot ha^{-1}$ , ou aproximadamente,  $5g \cdot planta^{-1}$ . Como o teor da ureia (fonte de Nitrogênio utilizada) era de 45%, o total final foi de  $11g \cdot planta^{-1}$ , divididos em duas aplicações: a primeira, 30 dias após o transplântio e a segunda 90 dias após o transplântio.

A aplicação das diferentes dosagens da ARB no solo foi feita de forma manual, utilizando-se recipientes com diferentes graduações de volume para a diferenciação dos tratamentos, ou seja, não se utilizou o sistema de irrigação para a aplicação do efluente, pois, além do potencial entupimento dos emissores, o sistema foi montado de maneira que a aplicação de água fosse idêntica para todas as plantas.

A irrigação da cultura foi realizada por um sistema de irrigação localizada utilizando gotejadores (Figura 1). Nos dias em que eram realizadas as aplicações de ARB nos diferentes

tratamentos, a irrigação era feita manualmente com o auxílio de recipientes graduados para que se aplicasse somente a quantidade de água necessária para suprir o volume já fornecido via ARB, de maneira a não alterar as lâminas de água aplicadas nos diferentes tratamentos.



**Figura 1** – Disposição das parcelas experimentais e parcelas de bordadura do cultivo realizado; T1=N mineral, T2=100%, T3=200%, T4=300% e T5=400% da dose de N recomendada para a citronela fornecida via ARB.

Para a obtenção dos dados de fluorescência da clorofila *a*, foram efetuadas três análises ao longo do experimento, sendo a primeira leitura com 38 dias, a segunda com 140 dias e a terceira com 182 dias após o início da aplicação da ARB.

A análise da fluorescência transiente da clorofila *a* foi realizada por tratamento em 15 folhas jovens (uma para cada vaso) completamente expandidas e não destacadas. As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando um fluorômetro portátil Modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments). A seguir um pulso saturante de  $3.400\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  foi aplicado para a indução da fluorescência transiente OJIP. As intensidades de fluorescência transiente foram medidas entre  $50\mu\text{s}$  (fluorescência inicial - F0) e 1s. Obtidos os valores da fluorescência transiente foram calculados os par\u00e2metros do Teste JIP proposto por Strasser & Strasser (1995) e Tsimilli-Michael & Strasser (2008).

A determinação do teor de pigmentos fotossint\u00e9ticos foi realizada espectrofotometricamente, de acordo com Arnon (1949), ao final do experimento, em todos os tratamentos. Amostras de 0,15g de massa fresca foliar foram maceradas na presen\u00e7a de acetona 80% calculados pelas equa\u00e7\u00f5es de Hendry & Grime (1993) e expressos em  $\mu\text{mol}\cdot\text{gMF}^{-1}$ .

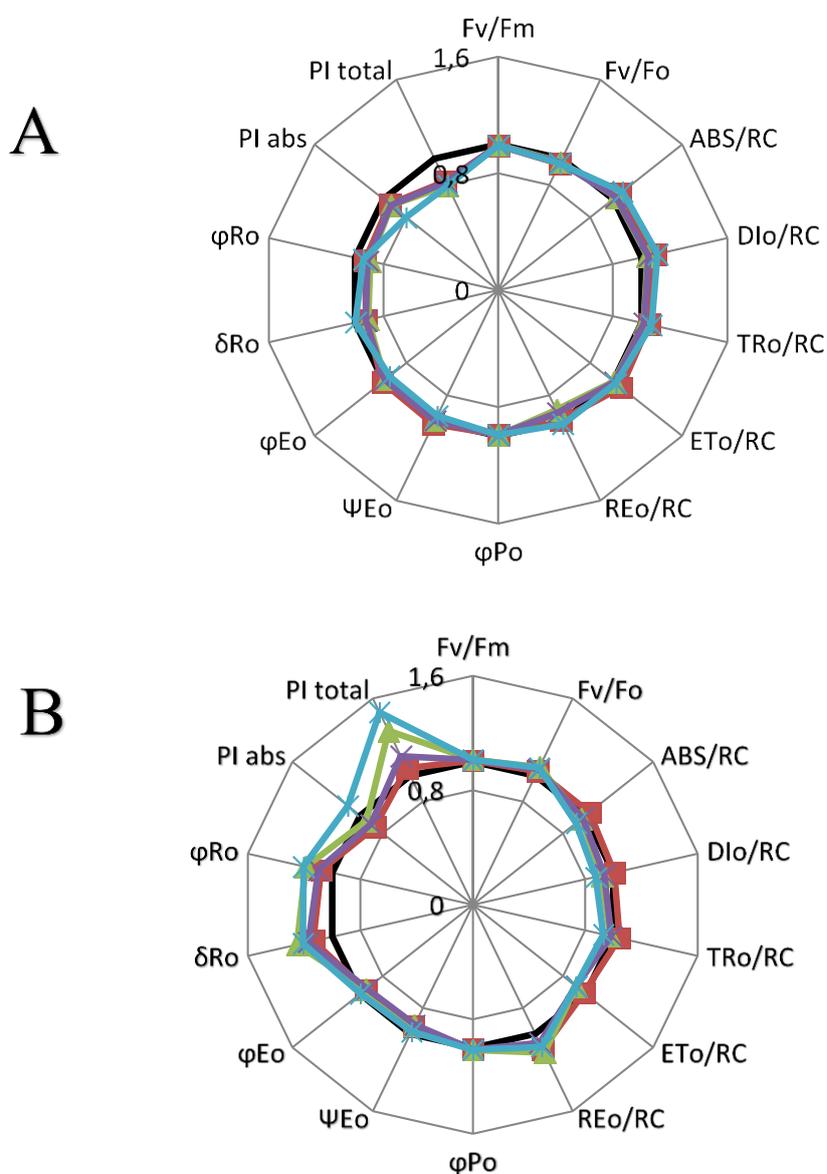
Foram amostradas cinco plantas por tratamento para a obten\u00e7\u00e3o dos dados de ac\u00famulo de mat\u00e9ria seca, parti\u00e7\u00e3o de fotoassimilados entre folhas, caule e ra\u00edzes, sendo considerada a unidade amostral uma planta por vaso. Para isso, as amostras da massa fresca foram mantidas em estufa com circula\u00e7\u00e3o for\u00e7ada de ar a  $65^{\circ}\text{C}$  por 72h, at\u00e9 atingir peso constante, em seguida foram pesadas em balan\u00e7a anal\u00edtica e os valores encontrados foram expressos em gramas.

A an\u00e1lise estat\u00edstica – ANOVA para os teores de pigmentos e massa seca foi realizada para os cinco tratamentos, considerando quatro repeti\u00e7\u00f5es para cada tratamento, ao n\u00edvel de 5% de signific\u00e2ncia. Quando observada diferen\u00e7a significativa pelo teste F, foi aplicado o Teste de Tukey.

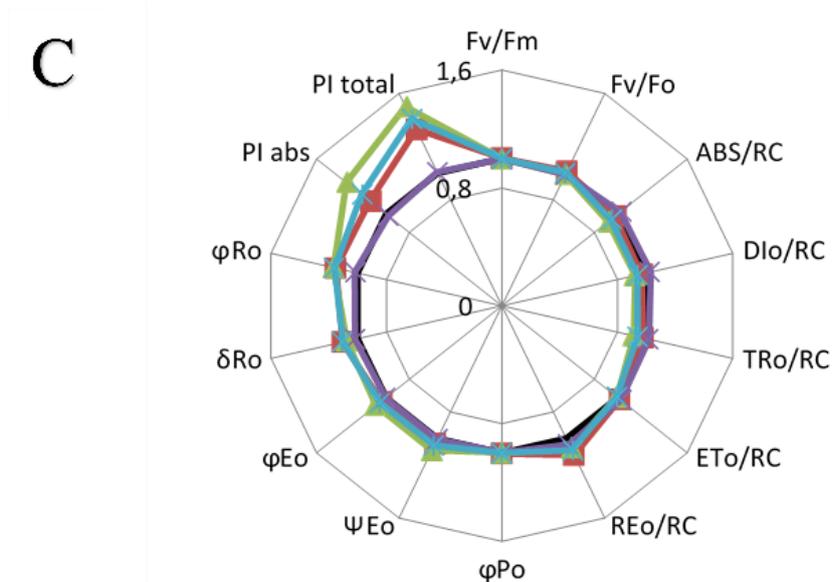
#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de citronela, nos cinco tratamentos em que foram submetidas, exibiram alterações fisiológicas, de acordo com cada dose de nitrogênio fornecida. De um modo geral, para todos os tratamentos, o fornecimento de água residuária de bovinocultura leiteira proporcionou uma melhor eficiência na atividade fotoquímica dessas plantas, no entanto, a resposta foi tempo-dependente.

Parâmetros biofísicos derivados das curvas de fluorescência transiente OJIP e alguns parâmetros do Teste JIP (STRASSER & STRASSER, 1995) estão representados na Figura 2. Todos os dados dos parâmetros de fluorescência foram normalizados para o respectivo controle, sem aplicação de água residuária de bovinocultura.



(continua..)



**Figura 2** – Parâmetros do Teste JIP, em relação ao respectivo controle, obtidos a partir da fluorescência transiente OJIP das clorofilas de plantas de citronela cultivadas sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira (ARB). (A) 38 dias após o início da aplicação da ARB, (B) 140 dias após o início da aplicação da ARB, (C) 182 dias após o início da aplicação da ARB. (—) controle - 100% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral, (■—) T2 - 100% da dose de N recomendada fornecida via ARB, (▲—) T3 - 200% da dose de N recomendada fornecida via ARB, (X—) T4 - 300% da dose de N recomendada fornecida via ARB, (X—) T5 - 400% da dose de N recomendada fornecida via ARB.

Aos 38 dias (Figura 2A) as plantas de todos os tratamentos apresentaram respostas idênticas em relação a todos os parâmetros analisados, ao nível do controle, somente com exceção ao índice de performance (PIabs), para o tratamento com 400% de nitrogênio via fornecimento por água residuária de bovinocultura leiteira (ARB). Porém, para o parâmetro que indica o índice de performance total (PItotal) da cadeia de transporte de elétrons, todos os tratamentos permaneceram inferiores ao controle, corroborando com Yusuf et al. (2010) que indicam que este parâmetro é o mais sensível do Teste JIP por que incorpora vários parâmetros que são avaliados a partir da fluorescência transiente OJIP, evidenciando, assim, que o período inicial de aplicação de ARB não promoveu um melhor desempenho fotoquímico, talvez devido ao período de aclimatação ao novo ambiente em que as plantas foram inseridas, tendo em vista que foram transplantadas de um local para outro, até completo estabelecimento da planta, principalmente associado ao sistema radicular, e segundo alguns autores, esse período depende de espécie para espécie, além do fator que estiver sendo analisado (ESTRADA-LUNA & DAVIES, 2003; NILOFER et al., 2018; MOHOTTIGE et al., 2018).

Em relação à análise realizada aos 140 dias após o fornecimento de ARB (Figura 2B), foi perceptível de um modo geral, que, para todos os tratamentos, o fornecimento de ARB foi favorável para a performance total da cadeia de transporte de elétrons, demonstrando que a eficiência fotossintética da planta foi aumentando à medida em que aumentava a dose de nitrogênio fornecida por ARB. Os fluxos por centro de reação do FSII de absorção (ABS/RC) foram inferiores ao controle, sendo o centro de reação do FSII um complexo pigmento proteico, importante na transferência de elétrons que recebe energia do complexo antena e a converte em energia química, usando reações de oxidação-redução (TAIZ et al., 2017). Isso refletiu em um

menor índice de performance da cadeia de transporte de elétrons  $PI_{abs}$  quando comparado ao  $PI_{total}$ .

A razão de dissipação total de energia de excitação não capturada do total de RC ( $DIo/RC$ ) foi menor, mantendo a máxima taxa de captura pelo centro de reação, resultando em redução de QA ( $TRo/RC$ ), a re-oxidação de QA- via transporte de elétrons em um centro de reação ativo ( $ETo/RC$ ). Proporcionou-se, assim, uma maior manutenção no fluxo relacionado à redução do acceptor final de elétrons do fotossistema I (FSI) ( $REo/RC$ ), uma maior eficiência com que um elétron pode se mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI ( $\delta Ro$ ), bem como também no parâmetro que descreve o rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fóton absorvido ( $\phi Ro$ ), foram a níveis de controle ou superiores.

Para a última análise realizada aos 182 dias após o fornecimento de ARB (Figura 2C), as plantas apresentaram-se mais eficientes que na análise anterior, realizada aos 140 dias, em relação à atividade fotoquímica, com índice de performance total superior, para todos os tratamentos, com exceção do tratamento com 300% da dose de nitrogênio via ARB, que se manteve a níveis de controle, para a maioria dos parâmetros.

Os índices de performance fotossintético,  $PI_{abs}$  e  $PI_{total}$  são parâmetros que incorporam os termos que expressam potenciais parciais de conservação de energia na bifurcação sequencial de energia até a redução dos aceptores de elétrons no intersistema de transporte de elétrons e a redução dos aceptores finais do FSI, respectivamente (YUSUF et al., 2010), sendo que cada potencial parcial é dado pela razão da eficiência de conservação de energia dividida pelo complemento da eficiência.

Assim, de acordo com as respostas da análise da fluorescência da clorofila *a*, para as plantas de citronela com as diferentes doses de nitrogênio com fornecimento via ARB, comparando-se ao controle (sem aplicação de ARB), pode-se verificar que a água residuária promoveu nutrição mineral suficiente, o que ocasionou respostas adequadas para a atividade fotoquímica, o que possivelmente pode contribuir na promoção do crescimento e desenvolvimento, sob esse aspecto, pois a obtenção de boas produtividades geralmente está condicionada ao fornecimento de nutrientes, como o NPK, via adubação mineral e/ou orgânica (ERTHAL et al., 2010; ALVES et al., 2018; FONTES, 2014).

Os teores de pigmentos fotossintéticos, que estão relacionados à absorção de energia luminosa para a fotossíntese, assim como também o pigmento acessório (carotenoide) (TAIZ et al., 2017), estão representados na Tabela 1, onde somente para carotenoides ocorreu diferença entre os tratamentos, sendo evidenciado o maior teor no tratamento com 100% da dose recomendada de nitrogênio fornecida via água residuária de bovinocultura leiteira, mas não diferindo do tratamento com a maior dose de nitrogênio via ARB. Assim, o menor teor de carotenoides foi verificado no tratamento sem aplicação de ARB, demonstrando que a ARB pode promover uma maior biossíntese dessa molécula absorvedora de luz em organismos fotossintéticos, trabalhando em conjunto com a clorofila *a*.

**Tabela 1** – Valores médios de pigmentos fotossintéticos de citronela em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira (ARB).

	<b>T1-controle-100% de N via adubação mineral</b>	<b>T2-100% da dose de N via ARB</b>	<b>T3-200% da dose de N via ARB</b>	<b>T4-300% da dose de N via ARB</b>	<b>T5-400% da dose de N via ARB</b>
Clorofila <i>a</i>	2,4889 <sup>Ns</sup>	3,9519 <sup>Ns</sup>	3,2502 <sup>Ns</sup>	3,3383 <sup>Ns</sup>	3,8713 <sup>Ns</sup>
Clorofila <i>b</i>	0,9042 <sup>Ns</sup>	1,7151 <sup>Ns</sup>	2,1969 <sup>Ns</sup>	2,0550 <sup>Ns</sup>	2,1661 <sup>Ns</sup>
Carotenoides	0,0013 <sup>c*</sup>	0,0019 <sup>a</sup>	0,0018 <sup>ab</sup>	0,0014 <sup>bc</sup>	0,0018 <sup>ab</sup>
Clorofila total	3,3931 <sup>Ns</sup>	5,6670 <sup>Ns</sup>	5,4472 <sup>Ns</sup>	5,3933 <sup>Ns</sup>	6,0374 <sup>Ns</sup>
Razão clorofila <i>a/b</i>	3,0573 <sup>Ns</sup>	3,6262 <sup>Ns</sup>	1,6689 <sup>Ns</sup>	2,1099 <sup>Ns</sup>	1,8807 <sup>Ns</sup>

\*As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Ns: não significativo.

Mesmo fornecendo nitrogênio em maior quantidade para as plantas do tratamento com 400% da dose de nitrogênio recomendada para a cultura de citronela, este não foi utilizado para a maior biossíntese de clorofila nessas plantas. Os teores de clorofila (*a* e *b*) não apresentaram diferença entre os tratamentos, mesmo que o nitrogênio estivesse em maior quantidade no solo, como indicou a análise química do solo, realizada após o encerramento do experimento. Verificou-se que a quantidade de nitrogênio, quando comparado o tratamento com nutrição mineral (sem aplicação de ARB) ao tratamento com 400% da dose nitrogênio recomendada via ARB, foi de 8,9 %, apresentando um aumento dependente da dose para os tratamentos (Tabela 2).

**Tabela 2** – Dados extraídos da análise química do solo em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela.

<b>Análise do Solo</b>							
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Pré-tratamento</b>	<b>Pós-tratamentos</b>				
			<b>T1-100% de N via adubação mineral</b>	<b>T2-100% da dose de N via ARB</b>	<b>T3-200% da dose de N via ARB</b>	<b>T4-300% da dose de N via ARB</b>	<b>T5-400% da dose de N via ARB</b>
pH	upH	4,20	4,90	5,50	5,60	6,00	6,10
K	mg.dm <sup>-3</sup>	14,00	85,58	337,86	319,98	323,95	325,94
P	mg.dm <sup>-3</sup>	9,45	602,87	1.401,51	1.068,04	986,61	816,90
N	g.kg <sup>-1</sup>	1,40	1,46	1,46	1,50	1,52	1,58

pH: potencial Hidrogeniônico, K: Potássio, P: Fósforo e N: nitrogênio.

Por se tratar de um elemento mineral que pode ser tanto armazenado como assimilado, o nitrogênio (LIU et al., 2018; QIAO et al., 2019), é considerado um fator limitante para o crescimento adequado, pois possui inúmeras funções bioquímicas, tais como a composição de compostos de carbono, sendo assim, importante para o crescimento e desenvolvimento adequados do vegetal (HESSINI et al., 2019; ROCA et al., 2018; SHABANAMOL et al., 2018).

O nitrogênio presente no solo antes da realização dos tratamentos com ARB estava em menor quantidade, no entanto, apresentou ao longo dos tratamentos um acréscimo conforme o aumento da dose de nitrogênio na água residuária, ou seja, dose dependente. A mesma resposta foi verificada com o valor do pH do solo, para os diferentes tratamentos, apresentando ao final um acréscimo de 1,90 no pH do solo, no tratamento com 400% da dose de nitrogênio necessária.

A faixa de pH considerada ideal é de 5,5 a 6,5, para que a maioria dos nutrientes estejam disponíveis (LUCAS & DAVIS, 1961; TAIZ et al., 2017), pois o pH do solo tem grande influência sobre a disponibilidade de elementos minerais para as plantas, bem como influencia na atividade microbiana (MOHOTTIGE et al., 2018; SILVA-SÁNCHEZ et al., 2019; TAIZ et al., 2017; TORABIAN et al., 2019). Dessa forma, no presente experimento, verificou-se que, no tratamento com 100% da dose recomendada de nitrogênio fornecida via ARB até a maior dose de nitrogênio, a aplicação de água residuária de bovinocultura contribuiu para aumentar o pH do solo, quando este se encontra ácido, o que não foi verificado no tratamento sem aplicação de ARB.

Teixeira (2016) verificou que o uso de ARB altera o pH do solo, contribuindo para que seja elevado devido a incorporação de resíduos orgânicos no solo. De acordo com Matos (2014), a liberação de ácidos orgânicos solúveis, logo após a incorporação de resíduos orgânicos, contribui para acidificação do solo, entretanto, com a mineralização do material orgânico, os sais de ácidos fracos (como K, Na, Ca e Mg) e outros íons passam a ser disponibilizados no meio. Esses íons proporcionam diminuição na atividade (força iônica) do hidrogênio e do alumínio (sua reação com a água proporciona a liberação de  $H^+$ ) no meio, o que se traduz com aumento no seu pH.

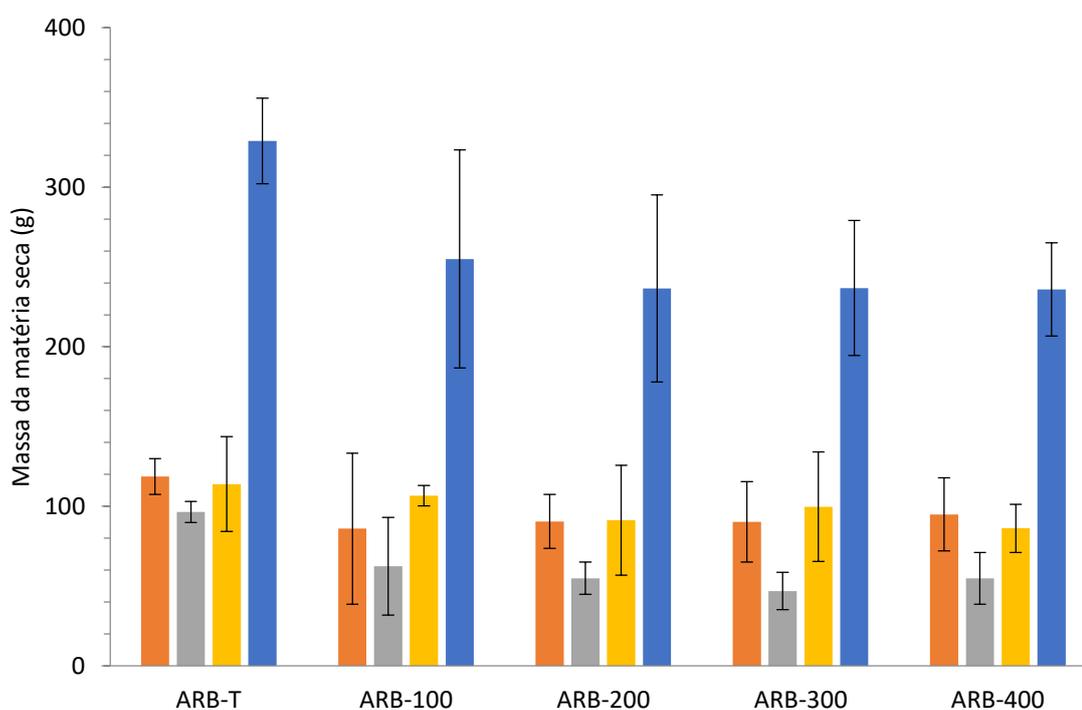
Há alteração na absorção de nutrientes minerais do solo quando o pH está fora da faixa ideal, implicando em deficiência mineral na planta, o que promove perturbações em seu metabolismo e funcionamento. Deve-se ressaltar que o excesso de nutrientes pode proporcionar a chamada zona de toxicidade para o vegetal (BALDI et al., 2018; SANTOS et al., 2017). Assim, neste experimento os tratamentos com ARB possivelmente apresentaram uma nutrição mineral adequada, se for considerada apenas a necessidade de um pH adequado para a absorção da maioria dos elementos minerais, o que se evidenciou nas análises de fluorescência da clorofila *a*, em que as plantas ao final das análises não se encontravam estressadas. No entanto, não somente o pH influencia na absorção dos nutrientes minerais pelo vegetal, como também, umidade, matéria orgânica do solo, ou seja, o solo deve possuir propriedades químicas e físicas adequadas (CHEN et al., 2019; HONG et al., 2019; TORABIAN et al., 2019).

O fósforo e o potássio também são nutrientes exigidos em quantidades maiores nos tecidos vegetais. O fósforo é importante no armazenamento de energia, na integridade estrutural, entre outras funções (FREW, 2019; LIN et al., 2019; SCHWAMMBERGER et al., 2019). Nesta pesquisa, o fósforo foi encontrado em maior quantidade nos solos dos tratamentos que apresentavam as doses de 200 e 300% de nitrogênio fornecido via ARB e o solo que apresentou a menor quantidade foi o que continha adubação mineral, sem ser via ARB. Ou seja, o maior fornecimento de nitrogênio pelas doses de ARB, promoveu também maior concentração de fósforo no solo, o que pode promover desequilíbrio nutricional, quando em elevada concentração, podendo ocasionar toxicidade (TAIZ et al., 2017). No entanto, quando comparado os dois tratamentos que continham 100% da dose recomendada para a cultura, tanto mineral quanto via fornecimento de ARB, o solo que continha ARB, apresentou um acréscimo de 132% para o fósforo, em relação à adubação mineral de fósforo. Quando se observa a análise inicial do solo, pré-tratamentos, e após os tratamentos, a quantidade de fósforo e potássio aumentaram muito, em relação às doses de nitrogênio.

O potássio é classificado dentro do grupo de nutrientes que permanecem na forma iônica - importante cátion inorgânico em plantas, com um papel substancial em vários processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos (HAFEEZ et al., 2018), inclusive desempenha

múltiplos papéis na adaptação ao estresse (ASSAHA et al., 2017; HASANUZZAMAN et al., 2018; LI et al., 2019). Este nutriente apresentou a mesma tendência do fósforo nas análises experimentais. Entretanto, o maior incremento na concentração de potássio foi observado no tratamento com 100% da dose de nitrogênio fornecido via ARB (Tabela 2). A análise desses elementos minerais presentes no solo, tanto no início quanto ao final das análises, é imprescindível para relacionar a utilização destes pelo vegetal e, conseqüentemente, seu ganho de massa ao final, bem como partição de massa entre os órgãos do vegetal, pois vários fatores podem alterar o padrão de fixação, alocação e particionamento de biomassa (BREUER et al., 2018; ETEMADI et al., 2019; LIU et al., 2018; NOMAN et al., 2018; PESCHIUTTA et al., 2018; ZHANG et al., 2019).

A avaliação dos dados de massa seca total mostrou que os tratamentos com ARB não resultaram em maior ganho de massa seca total (Figura 3). Corroborando, Mendonça et al. (2016), trabalhando com ARB em cana-de-açúcar, verificaram que o crescimento das cultivares foram semelhantes, quando comparado ao tratamento com ureia. Entretanto, outros autores ressaltaram que maiores doses de biofertilizante proporcionaram melhor eficácia no crescimento da cana-de-açúcar, uma espécie com o mesmo metabolismo fotossintético da planta de citronela (SANGWAN et al., 1993; GUPTA et al., 2018; HARTZELL et al., 2018).



**Figura 3** – Massa de matéria seca de folha (■), caule (■), raiz (■) e total (■), de citronela, nos tratamentos testemunha (ARB-T), tratamento 1 (ARB-100), tratamento 2 (ARB-200), tratamento 3 (ARB-300) e tratamento 4 (ARB-400). Barra indica Desvio Padrão.

Quando analisada a partição alocada em cada órgão da citronela, verificou-se que somente no caule ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, ocorrendo a maior produção em ambos os tratamentos com fornecimento de nitrogênio na dose de 100% recomendada para a espécie, tanto na forma mineral quanto forma via fornecimento por ARB, o mesmo verificado por Daflon et al., (2019) em que trabalharam também com citronela, com diferentes cortes no sistema radicular, e o tratamento com corte de 100% o que mostrou maior acúmulo de massa seca foi o caule nessa situação, o que foi importante, pois com as raízes

sendo 100% cortadas, mas mantendo-se as folhas, as plantas apresentaram maior acúmulo de massa seca total, demonstrando que as raízes se recuperaram, em função dos recursos provenientes de seus caules para essas plantas emitirem novas raízes.

As folhas são a matéria-prima de importância econômica para extração dos princípios ativos utilizados na indústria de cosmética e farmacêutica (VENTER et al., 2014; GUPTA et al., 2018; FEISTHER et al., 2019). Neste trabalho, nenhum tratamento com ARB demonstrou maior ganho de massa foliar. Esses não corroboram com os observados em relação as análises de fluorescência da clorofila *a*, em que os tratamentos com ARB apresentaram maiores índices de performance total (PI<sub>total</sub>), com exceção do tratamento com ARB com 300% de nitrogênio, em que se manteve a níveis de controle. Entretanto, cabe salientar que uma maior eficiência na atividade fotoquímica não significa uma maior transformação em ganho de massa pela planta, pela atividade bioquímica da fotossíntese, pois a energia gerada pela fotossíntese também é utilizada para outras atividades metabólicas da planta, como por exemplo, de manutenção (SALISBURY et al., 2018).

Em relação aos resultados observados da fluorescência da clorofila *a*, e para as demais análises, evidenciou-se, de um modo geral, que o mais indicado para o cultivo de citronela com águas residuárias de bovinocultura, são as doses de 100 e 200% de nitrogênio. Estes são valores intermediários para a concentração de nutrientes minerais, destacando, assim, o fato de que o fornecimento de águas residuárias de bovinocultura leiteira para a produção de citronela é eficiente em vários aspectos e, além disso, promove o aproveitamento de um resíduo com alto potencial poluidor (ERTHAL et al., 2010), quando não fornecido um destino adequado, pois esta água possui uma alta carga orgânica e que, segundo Kozen e Alvarenga, 2009 a produção diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos leiteiros é aproximadamente 10% de seu peso corporal, o que representa, na maioria dos casos, uma quantidade de 45 a 48 kg/vaca/dia, o que pode ser mais significativo ainda em função do número de animais e da vazão do corpo hídrico receptor.

No entanto, mais investigações são necessárias para entender como essas diferentes doses de nitrogênio, via fornecimento por intermédio de ARB podem alterar e/ou regular a biossíntese de compostos do metabolismo secundário dessa espécie que apresenta grande importância econômica. O uso desse resíduo, além das vantagens agronômicas, fornece uma alternativa de destinação atendendo o capítulo 3, artigo 27 da resolução CONAMA 430 que trata sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011).

## 4.6 CONCLUSÕES

O fornecimento de nitrogênio por aplicação de água residuária de bovinocultura leiteira na cultura de citronela foi favorável para a performance total da cadeia de transporte de elétrons, sendo verificado que a eficiência fotossintética da planta foi aumentando à medida em que aumentava a dose de nitrogênio fornecida por ARB, ainda que não refletindo em ganho de biomassa.

As doses de nitrogênio fornecidas pela água residuária de bovinocultura leiteira, além do recomendado para a cultura de citronela, contribuem para um aumento do pH, fósforo e potássio, sendo dose dependente, especialmente para nitrogênio.

#### 4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNOLIN, C.A.; OLIVO, C.J.; LEAL, M.L.R.; BECK, R.C.R.; MEINERZ, G.R.; PARRA, C.L.C.; MACHADO, P.R.; FOLETTTO, V.; BEM, C.M.; NICOLODI, P.R.S.J. **Eficácia do óleo de citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) no controle de ectoparasitas de bovinos.** Revista Brasileira de plantas Mediciniais. v. 12, n. 4, p. 482-487, 2010.
- ALMEIDA, G. M.; RODRIGUES, J.G.L. **Desenvolvimento de plantas através da Interferência de auxinas, citocininas, etileno e giberelinas.** Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, v.9, n.3, p.111-117, 2016.
- ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D. OLIVEIRA, P. M. **Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23 n.5, p. 833-839, 2018.
- ANDRADE, M. A.; CARDOSO, M.G.; BATISTA, L.R.; MALLET, A. C. T.; MACHADO, S. M.F. **Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana.** Revista Ciência Agronômica. v. 43, n. 2, p. 399-408, 2012.
- ARNAO, M.B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. **Melatonin: A New Plant Hormone and/or a Plant Master Regulator?** *Trends Plant Science*. v. 24, p. 38-48, 2019
- ARNON, D. I. **Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*.** Plant Physiology, Maryland, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ASSAHA, D. V. M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M. W. **The Role of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes.** *Frontiers in Physiology*, v. 8, n. 509, p.1-19, 2017.
- AWAIS, M.; WAJID, A.; BASHIR, M. U.; HABIB-UR-RAHMAN, M.; RAZA, M. A. S.; AHMAD, A.; SALEEM, M. F.; HAMMAD, H. M.; MUBEEN, M.; SAEED, U.; ARSHAD, M. N.; FAHAD, S.; NASIM, W. **Nitrogen and plant population change radiation capture and utilization capacity of sunflower in semi-arid environment.** *Environmental Science and Pollution Research*. v. 24. n. 21, p. 17511-17525, 2017.
- BALDI, E.; MIOTTO, A.; CERETTA, C. A.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M. **Soil -applied phosphorous is an effective tool to mitigate the toxicity of copper excess on grapevine grown in rhizobox.** *Scientia Horticulturae*, v.227, p.102-111, 2018.
- BREUER, G.; MARTENS, D.E.; DRAAISMA, R. E.; WIJFFELS, R. H.; LAMERS, P. P. **Photosynthetic efficiency and carbon partitioning in nitrogen-starved *Scenedesmus obliquus*.** *Algal Research*, v. 9, p. 254-262, 2018.
- CASTRO, H.G.; BARBOSA, L.C.A.; LEAL, T.C.A.B.; SOUZA, C.M.; NAZARENO, A.C. **Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.).** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v.9, p.55-61, 2007.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho.

CHEN, Z.; ZHOU, X.; GENG, S.; MIAO, Y.; HAN, S. **Interactive effect of nitrogen addition and through fall reduction decreases soil aggregate stability through reducing biological binding agents**. Forest Ecology and Management, v. 445, p. 13-19, 2019.

COELHO, J.; ALMEIDA-TRAPP, M.; PIMENTEL, D.; SOARES, F.; FORTES, A.M. **The study of hormonal metabolism of Trincadeira and Syrah cultivars indicates new roles of salicylic acid, jasmonates, ABA and IAA during grape ripening and upon infection with Botrytis cinérea**. Plant Science, v. 283, p. 266-277, 2019.

DAFLON, T.M.; HÜTHER, C.M.; SANTOS, C.M.P.P.; CARVALHO, L.F.; CORREA, N.P.C.; CORREIA, D.M.; PEREIRA, C.R.; MACHADO, T.B. **Incrementos na produção de biomassa total de citronela por estresse severo no sistema radicular**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. v. 51, p. 95-111, 2019.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. **Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p.467-477, 2010.

ESTRADA-LUNA, A. A.; DAVIES, F. T. **Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post- acclimatization**. Journal of Plant Physiology, v. 160, n. 9, p.1073-1083, 2003.

ETEMADI, F.; HASHEMI, M.; BARKER, A. V.; ZANDVAKILI, O. R.; LIU, X. **Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia faba L.*)** Horticultural Plant Journal, v. 5, n. 4, p.170-182, 2019.

FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. **Jasmonates: Mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants**. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 20, 101210, 2019.

FARZADFAR, S.; ZARINKAMAR, F.; HOJATI, M. **Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium***. Plant Physiology and Biochemistry, v. 112, p. 207-217, 2017.

FEISTHER, V. A.; SCHERER FILHO, J.; HACKBARTH, F. V.; MAYER, D. A.; SOUZA, S. M. A. G. U. **Raw leaves and leaf residues from the extraction of essential oils as biosorbents for metal removal**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 7, n. 3, 103047, June 2019.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo.** Horticultura Brasileira, v. 32, p. 247-253, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000300002>.

FREW, A. **Arbuscular mycorrhizal fungal diversity increases growth and phosphorus uptake in C3 and C4 crop plants.** Soil Biology and Biochemistry, v. 135, p. 248-250, 2019.

GUPTA, P.; MISHRA, A.; YADAV, A.; DHAWAN, S. S. **Inter and intra-specific molecular and chemical diversity of elite accessions of aromatic grasses *Cymbopogons*.** Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, v. 11, p. 54-60, 2018.

HAFEEZ, A.; ALI, S.; MA, X.; TUNG, S. A.; SHAH, A. N.; LIU, A.; AHMED, S.; CHATTHA, M. S.; YANG, G. **Potassium to nitrogen ratio favors photosynthesis in late-planted cotton at high planting density.** Industrial Crops and Products, v. 124, p. 369–381, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.006>.

HARTZELL, S.; BARTLETT, M. S.; PORPORATO, A. **Unified representation of the C3, C4, and CAM photosynthetic pathways with the PHoto3 model.** Ecological Modelling, v. 384, p. 173-187, 2018.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J.A.; HOSSSEN, M.S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA; FUJITA, M. **Potassium: A vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses.** Agronomy, v. 8, n. 31, p.1-29, 2018. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

HENDRY, G., GRIME, J. **Methods in comparative plant.** A laboratory manual. Chapman & Hall, London, 1993, p.252

HESSINI, K.; ISSAOUI, K.; FERCHICHI, S.; SAIF, T.; CRUZ, C. **Interactive effects of salinity and nitrogen forms on plant growth, photosynthesis and osmotic adjustment in maize.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 139, p.171-178, 2019.

HONG, S.; GAN, P.; CHEN, A. **Environmental controls on soil pH in planted forest and its response to nitrogen deposition.** Environmental Research, v. 172, p. 159-165, 2019.

JORGE, M. F. **Tratamento e disposição final de águas residuárias de bovinocultura em solos sob manejo orgânico de produção de olerícolas / Marcos Filgueiras Jorge. – 2018. 179 f.: il**

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Fertilidade de solos.** In: MELHORANÇA, A. L. et al. Cultivo do milho. Sistemas de Produção, n. 2, set. 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27333/1/Fertilidade-de-solos-Adubacao.pdf>. Acesso em: 30 out. 2019.

LI, Y.; WANG, W.; WEI, K.; RUAN, L.; WANG L.; CHENG, H.; ZHANG, F.; WU, L.; BAI, P. **Differential transcriptomic changes in low-potassium sensitive and low-potassium tolerant tea plant (*Camellia sinensis*) genotypes under potassium deprivation.** Scientia Horticulturae, v. 256, (in progress), 2019. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108570.

LIN, Z.; WANG, Y.; HUANG, W.; WANG, J.; HE, Q. **Single-stage denitrifying phosphorus removal biofilter utilizing intracellular carbon source for advanced nutrient removal and phosphorus recovery**. *Bioresource Technology*, v.277, p.27-36, 2019.

LIU, N.; WU, S.; GUO, Q.; WANG, J.; WANG, J. **Leaf nitrogen assimilation and partitioning differ among subtropical forest plants in response to canopy addition of nitrogen treatments**. *Science of The Total Environment*, v. 637-638, p. 1026-1034, 2018.

LU, Z.; HU, W.; REN, T.; ZHU, C.; LU, J. **Impact of K deficiency on leaves and siliques photosynthesis via metabolomics in *Brassica napus***. *Environmental and Experimental Botany*, v.158, p. 89-98, 2019.

LUCAS, R.E.; ANDA DAVIS, J.E. **Relationship between pH values of organic soils and a availabilities of 12 plant nutrients**. *Soil Science*, v. 92, p. 177-182, 1961.

LUO, J.; ZHOU, J-J. **Growth performance, photosynthesis, and root characteristics are associated with nitrogen use efficiency in six poplar species**. *Environmental and Experimental Botany*, v. 164, p.40-51, 2019.

MA, J.; ZHANG, M.; LIU, Z.; CHEN, H.; ZHAO, C. **Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera L.*)**. *Scientia Horticulturae*, v. 254, p. 106-115, 2019.

MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; NASCIMENTO, A. M.; DE PAULA, V. R.; OTENIO, M. H. **Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019. doi: 10.17765/2176-9168.2019v12n1p151-171.

MALEKI, M.; GHORBANPOUR, M.; KARIMAN, K. **Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress**. *Plant Gene*, v. 11, 247-254, 2017.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014. 241 p.

MATOS, A.T.; **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2006. 142p. (Caderno Didático n. 38).

MENDONÇA, H. V.; OMETTO, J. P. H. B.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; OTENIO, M. H.; BORGES, C. A. V. **Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 9, n. 4, p.973-987, 2016. doi: 10.17765/2176-9168.2016v9n4p973-987.

MOHOTTIGE, T. N. W.; CHENG, K. Y.; KAKSONEN, A. H.; SARUKKALIGE, R.; GINIGE, M. P. **Influences of pH and organic carbon on oxalate removal by alkaliphilic biofilms acclimatized to nitrogen-deficient and supplemented conditions**. *Journal of Cleaner Production*, v. 187, p. 699-707, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.153.

NETSHILUVHI, T. R.; ELOFF, J.N. **Temperature stress does not affect antimicrobial activity of some South African medicinal plants.** South African Journal of Botany, v.123, p.93-97, 2019.

NILOFER, A.; SINGH, A. K.; KUMAR, A.; KAUR, P. SINGH, A.; KHARE, P.; SANGWAN, N. S.; KALRA, A.; SINGH, S. **A novel method for survival of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens L.*) mother plants under extreme climatic conditions.** Industrial Crops and Products, v. 126, p.227-237, 2018. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.10.014.

NOMAN, A.; ALI, Q.; MAQSOOD, J.; IQBAL, N.; JAVED, M.T.; RASOOL, N.; NASEEM, J.; **Deciphering physio-biochemical, yield, and nutritional quality attributes of water-stressed radish (*Raphanus sativus L.*) plants grown from Zn-Lys primed seeds.** Chemosphere, v. 195, p. 175-189, 2018. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.059.

PESCHIUTTA, M.L.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; BUCCI, S. J. **Herbivory alters plant carbon assimilation, patterns of biomass allocation and nitrogen use efficiency.** Acta Oecologica, v.86, p.9-16, 2018.

QIAO, Y.; YIN, L.; WANG, B.; KE, Q.; WANG, S. **Melatonin promotes plant growth by increasing nitrogen uptake and assimilation under nitrogen deficient condition in winter wheat.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 139, p. 342-349, 2019.

REZAEI, M.; RAZMJOO, J.; EHTEMAM, M.H.; KARIMMOJENI, H.; ZAHEDI, M. **The interaction between shade and drought affects essential oil quantity and quality of *Vitex agnus-castus L.* leaves and seeds.** Industrial Crops and Products, v. 137, p.460-467, 2019.

ROCA, L. F.; ROMERO, J.; BOHÓRQUEZ, J. M.; ALCÁNTARA, E.; TRAPER, A. **Nitrogen status affects growth, chlorophyll content and infection by *Fusicladium oleagineum* in olive.** Crop Protection, v. 109, p.80-85, 2018.

SALISBURY, A. B.; GALLAGHER, F.J.; CAPLAN, J.S.; GRABOSKY, J.C. **Maintenance of photosynthesis by *Betula populifolia* in metal contaminated soils.** Science of The Total Environment. v.625, p.1615-1627, 2018.

SANGWAN, R. S.; ABAD FAROOQI, A. H.; BANSAL, R. P.; SINGH-SANGWAN, N. **Interspecific Variation in Physiological and Metabolic Responses of five Species of *Cymbopogon* to Water Stress.** Journal of Plant Physiology, v. 142, n. 5, p. 618-622, 1993.

SANTOS, E. F.; SANTINI, J. M. K.; PAIXÃO, A. P.; FURLANI JÚNIOR, E.; REIS, A. R. **Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 113, p. 6-19, 2017.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.**

SCHERER, R.; WAGNER, R.; DUARTE, M.C.T.; GODOY, H.T. **Composição e atividades antioxidante e antimicrobiana dos óleos essenciais de cravo-da-índia, citronela e palmarosa.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. v.11, n.4, p.442-449, 2009.

SCHWAMMBERGER, P. F.; LUCKE, T.; WALKER, C.; TRUEMAN, S. J. **Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development.** Science of The Total Environment, v. 677, p. 390-403, 2019.

SHABANAMOL, S.; DIVYA, K.; GEORGE, T. K.; RISHAD, K. S.; JISHA, M. S. **Characterization and in plant nitrogen fixation of plant growth promoting endophytic diazotrophic *Lysinibacillus sphaericus* isolated from rice (*Oryza sativa*).** Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 102, p. 46-54, April 2018.

SILVA, Jonathas Batista Gonçalves. **Uso de água residuária de bovinocultura de leite no cultivo da figueira (*Ficus carica L.*): efeitos no solo e na cultura.** 2012. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.

SILVA-SÁNCHEZ, A.; SOARES, M.; ROUSK, J. **Testing the dependence of microbial growth and carbon use efficiency on nitrogen availability, pH, and organic matter quality.** Soil Biology and Biochemistry, v. 134, p. 25-35, 2019.

SIVASHANMUGAM, M.; PAULSAMY, S.; SENTHILKUMAR, P. **Energy dynamics in the C4 species dominated montane subtropical grassland at Nilgiri Biosphere Reserve, the Western Ghats, India** Acta Ecologica Sinica, v.29, n. 4, p. 254-259, 2009.

STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. **Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test.** In: Mathis P (ed). Photosynthesis: from light to biosphere. Volume V. Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France, 20-25 August 1995, p. 977-980.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6ª ed. Artmed Ed. 2017.

TAKSHAK, S.; AGRAWAL, S. B. **Defense potential of secondary metabolites in medicinal plants under UV-B stress.** Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 193, p.51-88, 2019.

TEIXEIRA, F. O. P. **Efeito da Disposição de Efluentes da Bovinocultura no Solo e na Biomassa Vegetal.** Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2016. Orientadora: Soraya Alvarenga Botelho. – Lavras: UFLA, 2016. 75p.

TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. **Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review.** Soil and Tillage Research, v. 185, p. 113-121, 2019.

TRONGTOKIT, Y.; RONGSRIYAM, Y.; KOMALAMISRA, N.; APIWATHNASORN, C. **Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites.** Phytotherapy Research, v.19, n.4, p.303-9, 2005.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. **In vivo assessment of stress impact on plants' vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants.** In: VARMA, A (Ed.). Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic. Uttar Pradesh: Springer, p. 679-703, 2008.

VELOSO, R. A.; DE CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; DOS SANTOS, G. R.; BARBOSA, L. C. A.; DA SILVA, K. P. **Composição e fungitoxicidade do óleo essencial de capim citronela em função da adubação orgânica.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 47, n. 12, 2012.

VENTER, G. J.; LABUSCHAGNE K.; BOIKANYO S.N.; MOREY L. **Assessment of the repellent effect of citronella and lemon eucalyptus oil against South African Culicoides species.** Journal of the South African Veterinary Association. v. 85, n. 1, p. 5, 2014.

WU, Y-W.; LI, Q.; JIN, R.; CHEN, W.; YUAN, J-C. **Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances.** Journal of Integrative Agriculture, v. 18, p.1246-1256, 2019.

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE, SARIN N.B. **Overexpression of  $\gamma$ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurement.** Bioch Biophys Acta (BBA)-Bioenerg, v. 1797, n. 8, p. 1428-1438, 2010.

ZHANG, H-Y.; HARTMANN, H.; GLEIXNER, G.; THOMA, M.; SCHWAB, V. F. **Carbon isotope fractionation including photosynthetic and post-photosynthetic processes in C3 plants: Low [CO<sub>2</sub>] matters.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 245, p.1-15, 2019.

## **5. CAPÍTULO II**

### **FERTILIDADE DO SOLO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL NA CULTURA DE CITRONELA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA**

**Título resumido: ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA NO  
CULTIVO DE CITRONELA**

**SOIL FERTILITY AND ESSENTIAL OIL PRODUCTION IN CITRONELLA  
IRRIGATED CULTURES WITH MILK BOVINOCULTURE WASTEWATER**

**Short title: USE OF WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE IN  
CITRONELLA CULTIVATION**

Artigo Formatado de Acordo com a Agroecology and Sustainable Food Systems (Artigo em tramitação), adaptado à Norma do PPGCTIA/UFRRJ.

HAMACHER, L.; HÜTHER, C.; SILVA, L.; CECCHIN, D.; CARMO, D.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, C; MACHADO, T.; PEREIRA, C.; SILVA, F; fertilidade do solo e produção de óleo essencial na cultura de citronela irrigada com água residuária de bovinocultura leiteira.

## 5.1 RESUMO

Em virtude dos impactos negativos ligados ao descarte descontrolado das águas residuárias de bovinocultura de leite (ARB) é importante propor usos alternativos para a ARB, a fim de reduzir o impacto ambiental gerado pela disposição inadequada dos resíduos da produção leiteira e ainda estudar uma alternativa de produção que possa ser desenvolvida por pequenas propriedades agrícolas. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação da aplicação de fertirrigação com ARB na composição mineral do solo com a produção de óleo essencial em citronela. Para tanto, adotou-se o uso de Nitrogênio (N) como elemento de referência e fez-se o cálculo da quantidade de ARB equivalente a ser aplicada para substituir este elemento. A partir daí foram aplicadas ao longo do período de produção doses equivalentes a 100%, 200% 300% e 400% da dose recomendada de N para a cultura. Após seis meses de cultivo foi avaliada a disponibilização de nutrientes via fertirrigação para o solo e também a relação dessa disponibilização de nutrientes na produção de óleo essencial para os tratamentos. Os resultados demonstraram que o fornecimento de ARB para o cultivo de citronela foi eficaz no fornecimento de nutrientes minerais para o solo o que se equivaleu na maioria dos parâmetros quando analisados em relação ao tratamento com adubação mineral. Entretanto, isso não demonstrou diferença entre os tratamentos para a produção de óleo essencial, não influenciando na quantidade de óleo essencial e nos rendimentos quando comparados os tratamentos com ARB com tratamento de adubação mineral. Portanto, a utilização de água residuária de bovinocultura de leite para fertirrigação de cultivos de capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) é uma alternativa válida para fornecimento de composição mineral do solo e com isso auxilia na mitigação dos impactos relacionados ao descarte desta, porém sugerem-se novos estudos com maior período de avaliação e outros tipos de solos.

**Palavras-chave:** *Cymbopogon nardus* L.. Citronelal. Citronelol. fertilização nitrogenada; fertirrigação.

## 5.2 ABSTRACT

Due to the negative impacts associated with uncontrolled disposal of dairy cattle wastewater (CWW) it is important to propose alternative uses for CWW in order to reduce the environmental impact generated by improper disposal of dairy residues and to study an alternative for production that can be developed by small farms. Thus, the present work aimed to evaluate the relationship between application of fertigation with CWW in the mineral composition of the soil and the production of essential oil in citronella. To this end, the use of Nitrogen (N) was adopted as a reference element and the equivalent amount of CWW to be applied to replace this element was calculated. Thereafter, doses equivalent to 100%, 200% 300% and 400% of the recommended dose of N were applied throughout the production period. After six months of cultivation was evaluated the availability of nutrients via fertigation to the soil and also the relationship of this availability of nutrients in the production of essential oil for treatments. The results showed that the supply of CWW for citronella cultivation was effective in the supply of mineral nutrients to the soil, which was equivalent in most parameters when analyzed in relation to the treatment with mineral fertilization. However, this showed no difference between treatments for the production of essential oil, not influencing the amount of essential oil and yields when compared to treatments with CWW with mineral fertilizer treatment. Therefore, the use of dairy cattle wastewater for fertigation of citronella grass (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) crops is a valid alternative for providing soil mineral composition and thus helps to mitigate the impacts related to the disposal of this crop. However, further studies with a longer evaluation period and other soil types are suggested.

**Keywords:** *Cymbopogon nardus* L. Citronellal. Citronellol. Nitrogen fertilization. Fertigation.

### 5.3 INTRODUÇÃO

Despejos de água residuária em corpos hídricos são um dos maiores causadores da poluição aquática, contribuem para o aumento da demanda de oxigênio (DBO) e consequentemente causando impactos negativos aos ecossistemas aquáticos (MORRISON et al., 2001). Em relação ao sistema solo-planta, quando critérios agrônômicos e ambientais não são levados em consideração no momento da disposição de águas residuárias, as mesmas podem causar problemas como toxicidade às plantas, contaminação tanto do solo quanto das águas (superficiais e subterrâneas). Entretanto, se feita adequadamente, traz benefícios, como fonte de água e nutrientes para as plantas, e consequentemente redução do uso de fertilizantes e do impacto poluidor (FONSECA et al., 2007; ERTHAL et al., 2010).

Neste contexto, a busca por alternativas que reduzam o impacto ambiental relacionado a atividades já existentes bem como a busca por outras formas de geração de renda passa a ser fundamental para a dinamização da produção, reduzindo a fragilidade econômica e ambiental relacionada a estas propriedades. Dentre tantas atividades típicas da agricultura familiar, a bovinocultura leiteira está presente em boa parte dos estabelecimentos por todo o território nacional e é também grande geradora de resíduos, especialmente em função da enorme quantidade de dejetos sólidos e líquidos gerados diariamente, sendo, portanto, alvo de vários estudos que visam mitigar este impacto.

Um mercado que tem se mostrado viável ao pequeno produtor é o de produção de plantas medicinais ou aromáticas. Especificamente no caso do capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) por ser rústico, se adaptar a diferentes tipos de solos e climas, além de apresentar valor econômico relacionado ao óleo essencial que dele é extraído, o interesse e o desenvolvimento de estudos têm sido destacados.

O capim citronela apresenta as substâncias voláteis nas folhas, como  $\beta$ -citronelal,  $\beta$ -citronelol, eugenol, geraniol e limoneno, entre outras, denominadas de um modo geral como monoterpenos (SEIXAS, et al., 2011; KPOVIESSI, et al. 2014). Essas substâncias atuam na defesa química da planta contra a ação de predadores (CASTRO et al., 2007). O citronelal é utilizado como material básico para síntese de importantes compostos químicos denominados inonas e para a síntese de vitamina A (FURLAN et al., 2010; PERINI, et al., 2011). Os óleos essenciais possuem composição química complexa, destacando-se a presença de terpenos e fenilpropanoides. Essas substâncias são voláteis e estão contidas principalmente nas folhas da citronela, e estão relacionados com diversas funções necessárias à sobrevivência, tais como defesa contra estresses bióticos (OLIVEIRA et al., 2011).

O óleo essencial da citronela apresenta interesse econômico, devido às substâncias contidas nestes e que possuem atividades biológicas, com ação inseticida (HERNANDEZLAMBRANO et al., 2015; SMITHA e RANA, 2015) carrapaticida (AGNOLIN et al. 2010) fungicida (SEIXAS et al., 2011; VELOSO et al., 2012) e bactericida (SILVA et al., 2010; NASCIMENTO et al. 2011), além de ser utilizada na forma de chá como calmante e digestivo (CASTRO et al., 2010; KPOVIESSI et al. 2014) e em cosméticos e aromatizantes.

Dessa forma, para propor uma alternativa de uso de ARB que reduza o impacto ambiental gerado pela disposição inadequada dos resíduos da produção leiteira e ainda estudar uma alternativa de produção que possa ser desenvolvida por pequenas propriedades agrícolas, este trabalho teve como objetivo avaliar a relação da aplicação de fertirrigação com ARB na composição mineral do solo com a produção de óleo essencial em citronela.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 Local e Condução do Experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de março e novembro de 2017 (outono até primavera), na área experimental “Banco Ativo de Germoplasma” (Figura 1), no Campus Gragoatá, da Universidade Federal Fluminense, cujas coordenadas são latitude de 22°54’00”S, longitude de 43°08’00” W e altitude de 8m. Climaticamente a região possui clima Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima tropical com inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 23°C e precipitação média anual de 1.200mm.



**Figura 1** – Localização da casa de vegetação utilizada para desenvolvimento dos trabalhos.  
Fonte: Google Maps, acesso no dia 20/09/2017.

As mudas de capim citronela, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, pertencente à família Poaceae, foram adquiridas no Centro de Abastecimento do Estado da Guanabara (Cadeg), na cidade do Rio de Janeiro, com aproximadamente 20cm de altura e permaneceram por um mês na casa de vegetação para aclimação das mudas às condições de iluminação, umidade relativa e temperatura local.

Antes do transplante para vasos de polietileno de 18L, foi realizada poda na parte aérea (Figura 2) para uniformização das plantas. As mudas foram transplantadas para os vasos no dia 11 de março de 2017.

Os vasos foram dispostos na casa de vegetação, em uma área de 112,0 m<sup>2</sup> e com cobertura de plástico agrícola de 150 µm além de sombrite com nível de 50% de sombreamento nas laterais e na cobertura. Os vasos foram dispostos com espaçamento entre linhas de 1,0m e entre vasos de 0,50m (Figura 3).



**Figura 2** – Detalhe da poda realizada no ato do transplântio das mudas de citronela. Fonte: Acervo Pessoal.



**Figura 3** – Disposição de vasos na casa de vegetação. Fonte: Acervo Pessoal.

Para garantir uma boa drenagem, colocou-se de 2 a 3cm de brita 0 (zero) no fundo dos vasos e as mesmas foram cobertas com uma manta geotêxtil. O solo utilizado foi classificado como textura argilosa, segundo análise físico-química realizada pelo Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, segundo métodos descritos em EMBRAPA (1997). Foi aplicado calcário agrícola dolomítico PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) 85,0%, na proporção de  $210\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  para a correção de acidez após análise de solo. A homogeneização foi realizada manualmente em recipiente contendo o solo e os vasos tiveram 45 dias de repouso antes do plantio.

No dia em que as mudas foram transplantadas para os vasos realizou-se a adubação de fósforo e potássio com a aplicação de  $\text{K}_2\text{O}$  (Óxido de Potássio), teor de 60,00 % na dose de  $10\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ , e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Superfosfato Simples), teor de 18 % na dose de  $37\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ , respectivamente, seguindo os resultados da análise de solo e as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004) para a adubação mineral da citronela.

## 2.2 Análise do Solo

Antes de se iniciar o experimento e após a definição de que solo seria utilizado, amostras foram coletadas, uniformizadas, e uma amostra de trabalho foi separada e enviada para análise no Laboratório de Análises de solo da Universidade Federal de Lavras. Os resultados das caracterizações química e física estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** – Caracterização química do solo utilizado no experimento

Característica	Valores
pH em água	4,2
K - mg/dm <sup>3</sup>	14,00
P - mg/dm <sup>3</sup>	9,45
Ca - cmol/dm <sup>3</sup>	0,40
Mg - cmol/dm <sup>3</sup>	0,10
Al - cmol/dm <sup>3</sup>	0,90
H+Al - cmol/dm <sup>3</sup>	2,08
SB - cmol/dm <sup>3</sup>	0,54
t - cmol/dm <sup>3</sup>	1,44
T - cmol/dm <sup>3</sup>	2,62
V - %	20,45
m - %	62,50
MO - dag/kg	1,41
P-Rem - mg/L	35,09
Zn - mg/dm <sup>3</sup>	1,18
Fe - mg/dm <sup>3</sup>	69,08
Mn - mg/dm <sup>3</sup>	1,30
Cu - mg/dm <sup>3</sup>	0,04
B - mg/dm <sup>3</sup>	0,13
S - mg/dm <sup>3</sup>	8,64

**Tabela 2** – Caracterização física do solo utilizado no experimento antes e imediatamente após a colheita dos tratamentos

Parâmetros	Unidade	PRÉ	PÓS				
			TEST	100	200	300	400
Argila	dag/kg	9	8	8	7	7	7
Silte	dag/kg	1	6	5	5	5	4
Areia	dag/kg	90	86	87	88	88	89
Classificação do solo			Textura Arenosa				

### 5.4.3 Caracterização da ARB

A caracterização da água residuária de bovinocultura leiteira envolveu os parâmetros PH, condutividade elétrica, sólidos totais, DQO, DBO, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, fósforo total, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, sendo que o pH da água encontrado foi de 6,51 de acordo com o método ABNT NBR: 1986 (Tabela 3)

**Tabela 3** – Caracterização química da ARB utilizada no experimento

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	upH	6,51
Condutividade	µS/cm	1881,0
Sólidos Totais	mg/L	4235,0
Nitrogênio Total	mg/L	208
Nitrogênio Orgânico	mg/L	199
DQO	mg/L	1799,5
DBO	mg/L	659,6
Fósforo Total	mg/L	17,7
Zinco Total	mg/L	0,42
Ferro Total	mg/L	6,46
Cobre Total*	mg/L	<0,05
Cálcio	mg/L	98,93
Potássio	mg/L	81,56
Magnésio	mg/L	74,51
Sódio	mg/L	47,1

\*valor menor que o limite de detecção do método utilizado

DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

A primeira aplicação de ARB foi realizada no dia 29 de maio de 2017 e, a partir de então, uma vez por semana. A ARB utilizada neste experimento foi preparada a partir de material *in natura* (fezes e urina de bovinos) coletada após a raspagem de um curral de propriedade particular, localizado no bairro de Monjolos, município de São Gonçalo-RJ. Para manter as condições apresentadas por Erthal et al. (2010) e, com a preocupação de ter um volume final a ser aplicado compatível, misturou-se 70% de água sem cloro com 30% de esterco fresco para preparo da ARB utilizada no experimento.

O cálculo para determinar a lâmina de ARB equivalente à dose de Nitrogênio recomendada para cultivo da citronela seguiu Matos (2006), além da referência da dose de Nitrogênio necessária para o cultivo da citronela (SBCS, 2004), conforme Equação 1:

$$TA_{AR} = 1000 \cdot \frac{\left[ N_{abs} - \left( T_{m1} \cdot MO \cdot \rho \cdot 10^7 \cdot 0,05 \cdot \frac{n}{12} \right) \right]}{\left[ T_{m2} \cdot N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nitrate}) \right] TR}$$

Em que:

$TA_{AR}$  = taxa anual de aplicação,  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;

$N_{abs}$  = absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada,  $kg \cdot ha^{-1}$ ;

$T_{m1}$  = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo,  $kg \cdot kg^{-1} \cdot a^{-1}$ ;

$MO$  = conteúdo de matéria orgânica do solo,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$\rho$  = massa específica do solo,  $ton \cdot m^{-3}$ ;

$n$  = número de meses de cultivo da cultura;

- $T_{m2}$  = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico,  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ;
- $N_{org}$  = nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;
- $N_{amoniacal}$  = nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;
- $N_{nitrato}$  = nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado,  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; e
- $TR$  = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura,  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Os tratamentos aplicados estão apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Tratamentos avaliados no experimento com ARB.

T1	100% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral;
T2	100% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T3	200% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T4	300% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T5	400% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB

Os percentuais de aplicação da lâmina de ARB foram definidos a partir da lâmina calculada (T2) e os demais visando maior volume de uso da água residuária, potencializando o reuso da mesma. Para todos os tratamentos foi aplicada a adubação mineral complementar de Fósforo e Potássio. A dose de N aplicada foi de  $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ou,  $5\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ . Como o teor da ureia (fonte de Nitrogênio utilizada) era de 45%, o total final foi de  $11\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ , divididos em duas aplicações: a primeira, 30 dias após o transplantio e a segunda, 90 dias após o transplantio.

A aplicação das diferentes dosagens da ARB no solo foi feita de forma manual, utilizando-se recipientes com diferentes graduações de volume para a diferenciação dos tratamentos, ou seja, não se utilizou o sistema de irrigação para a aplicação do efluente, pois, além do potencial entupimento dos emissores, o sistema foi montado de maneira que a aplicação de água fosse idêntica para todas as plantas.

A irrigação da cultura foi realizada por um sistema de irrigação localizada utilizando gotejadores. Sendo o sistema constituído de: conjunto moto-bomba FERRARI - IDB-35; manômetro; tubulações de PVC (linha de sucção, recalque, principal e de derivação); mangueira de polietileno de 16mm de diâmetro; gotejadores NETAFIM com pressão de serviço de 10m.c.a e vazão de  $4\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ , que foram integrados no espaçamento de 0,50m, com apenas um emissor por planta.

Antes de ser utilizado no experimento, realizou-se uma avaliação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação instalado. Para tanto, aplicou-se o teste de Christiansen (1942), segundo o qual devem ser avaliadas as quatro linhas laterais, sendo elas a primeira e a última, além daquelas situadas a 1/3 e 2/3 da linha de derivação. Como o sistema instalado é pequeno, optou-se pela coleta das vazões de todos os gotejadores de cada uma dessas linhas. Coletou-se em recipientes plásticos o volume aplicado por cada emissor durante um período de 5 minutos e, em seguida, medido em proveta graduada. O coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Christiansen (CUC) foi calculado pela Equação 02:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n_e - \bar{q}} \right] \quad (2)$$

Em que:

$q_i$  = vazão de cada gotejador, L·h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  = média da vazão dos gotejadores, L·h<sup>-1</sup>;

$n_e$  = número de emissores.

No manejo da irrigação a condição escolhida foi manter o potencial matricial dos vasos sempre entre a capacidade de campo (CC) e a umidade crítica, utilizando para isso a curva de retenção de umidade do solo como referência. A umidade atual era obtida através do uso de um equipamento do tipo TDR (Time Domain Reflectometer) devidamente calibrado e, a partir deste ponto, era calculada a lâmina necessária para se chegar novamente a CC.

Nos dias em que eram realizadas as aplicações de ARB nos diferentes tratamentos, a irrigação era feita manualmente com o auxílio de recipientes graduados para que se aplicasse somente a quantidade de água necessária para suprir o volume já fornecido via ARB, de maneira a não alterar as lâminas d'água aplicadas nos diferentes tratamentos.

#### 5.4.4 Extração de Óleo Essencial

Para a extração dos óleos essenciais de citronela obtida de cada tratamento, o material vegetal (folhas) foi coletado aos 183 dias após a poda de uniformização, totalizando três repetições por tratamento e armazenado em freezer a -20°C, no Laboratório de Interação Planta-Ambiente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense - UFF.

Para a extração dos óleos essenciais foram utilizados cerca de 250g de folhas frescas de citronela. As folhas foram cortadas em pedaços menores, cerca de 2cm, e acondicionadas em balões de vidro temperado de cinco litros posicionados sobre mantas aquecedoras. O material vegetal foi então submetido à hidrodestilação com a adição de 3L de água destilada e utilizando aparelhos modificados tipo Clevenger por 4 horas, cronometradas a partir do início da ebulição (BRUNETON, 1993).

Após o período de extração, os óleos essenciais de cada amostra foram reunidos em funis de separação e submetidos à partição líquido-líquido com aproximadamente 200mL de *n*-hexano. As fases orgânicas obtidas foram transferidas para Erlenmeyers, aos quais foi adicionado excesso de sulfato de magnésio anidro para garantir a retirada de gotículas de água remanescentes do processo de separação das fases orgânica e inorgânica. Em seguida, no Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais da Faculdade de Farmácia da UFF, a fase orgânica foi filtrada por meio de papel de filtro e submetida à evaporação sob pressão reduzida utilizando um evaporador rotatório a 30°C até completa evaporação do solvente. Os óleos essenciais obtidos foram então transferidos para frascos previamente pesados e o rendimento calculado por diferença a fim de se determinar o rendimento percentual (p/p). Logo após a pesagem, os frascos foram envolvidos em papel alumínio e congelados para análises posteriores.

#### **5.4.5 Análise Química dos Óleos Essenciais**

Os óleos essenciais obtidos foram diluídos a 0,1% (v/v) em diclorometano e analisados em um cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (Shimadzu QP 5000). Os espectros de massas foram obtidos por meio de ionização por impacto de elétrons (70eV; 1 scan/s). As condições de análise foram as seguintes: temperatura do injetor, 260°C; temperatura do detector, 290°C; fase móvel, hélio; fluxo da fase móvel, 1mL/min; injeção no modo Split (1:40); temperatura inicial do forno, 60°C; rampa de aquecimento, 3°C/min até 290°C; volume de injeção, 1µL; coluna capilar RTX-5 (0,25mm x 30m x 0,25µm).

A composição percentual dos óleos essenciais foi calculada pelo método da normalização das áreas de pico CG-DIC. A identificação das substâncias majoritárias foi realizada por comparação do índice Aritmético (AI), determinado em relação ao tempo de retenção de uma série de *n*-alcanos (C7-C40, Sigma-Aldrich) e padrão de fragmentação do espectro de massas foi comparado com bibliotecas de espectros de massas NIST.

#### **5.4.6 Delineamento Experimental**

Após as análises do óleo essencial e cálculos posteriores, os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico Sisvar V.5.6 (FERREIRA, 2014).

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Fertilidade do Solo

A fertirrigação do solo com aplicação de ARB promoveu nos tratamentos uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que causou uma melhora na fertilidade do solo, sendo perceptível pela análise visual das plantas, onde para todos os tratamentos com aplicação de ARB quando se comparava com o tratamento de aplicação de adubação somente via mineral, todos apresentavam um aspecto uniforme de crescimento (Figura 4). Isso se comprova com os dados de massa seca total em que não houve diferença entre os tratamentos (HAMACHER et al., *no prelo*, 2020).



**Figura 4** – Aspecto visual das plantas dispostas aleatoriamente na casa de vegetação (A) e ao final do experimento (B).

Desta maneira, o fornecimento de nutrientes minerais via ARB para plantas de citronela pode ser indicado, pois refletiu no mesmo ganho de biomassa, quando comparado a adubação mineral.

Por outro lado, se fornecida de forma inadequada a ARB pode proporcionar efeitos negativos da utilização de águas residuárias, sobretudo aqueles causados pela alta concentração de sais existentes nessas águas. O aumento da concentração de sais no solo, causado pela aplicação de águas residuárias, faz com que as plantas necessitem de ajustamento osmótico a fim de manter o fluxo de água no sentido solo-folha (ERTHAL et al., 2010), o que pode promover déficit hídrico nas plantas e uma necessidade de ajuste osmótico pela mesma (TAIZ et al., 2017), por isso ser tão importante o cálculo correto da disponibilização das lamina de aplicação de ARB, pois deve ser de acordo com a capacidade do sistema solo-planta em absorver o resíduo aplicado sem comprometer a qualidade do solo, da planta e nem das águas subterrâneas (ERTHAL et al., 2010). Dependendo ainda de que tipo de água residuária estiver disponível para uso, deve-se direcionar a mesma para culturas que não possuem uso direto para o consumo humano, como é o caso da fertirrigação com águas residuais domésticas (SILVA et al., 2016).

Em geral as plantas não são muito sensíveis a variações nas relações entre cátions determinados na análise de solo. Isto significa que no manejo da fertilidade do solo é mais importante a manutenção de teores individuais dos principais cátions em nível suficiente (BROCH e RANNO, 2013). Na caracterização química do solo e, especificamente com relação ao valor do pH, observa-se que o mesmo estava ácido antes de qualquer tratamento e, mesmo após a correção com calcário dolomítico, manteve-se pouco ácido. Porém, a medida que se

aumentou a dose de N via ARB, notou-se que aumentou o valor do pH, até atingir 6,10 no tratamento de 400% (Tabela 4).

**Tabela 4** – Caracterização química do solo antes e imediatamente após a retirada das plantas dos tratamentos, ao final do experimento.

Parâmetros	Unidade	PRÉ	PÓS				
			Controle	100%	200%	300%	400%
pH		4,20	4,90	5,50	5,60	6,00	6,10
K	mg/dm <sup>3</sup>	14,00	85,58	337,86	319,98	323,95	325,94
P	mg/dm <sup>3</sup>	9,45	602,87	1401,51	1068,04	986,61	816,90
Ca	cmol/dm <sup>3</sup>	0,40	3,35	4,35	3,92	3,67	2,79
Mg	cmol/dm <sup>3</sup>	0,10	0,16	0,24	0,34	0,61	0,49
Al	cmol/dm <sup>3</sup>	0,90	0,22	0,16	0,08	0,09	0,05
H+Al	cmol/dm <sup>3</sup>	2,08	2,90	2,40	1,64	1,56	1,14
SB	cmol/dm <sup>3</sup>	0,54	3,73	5,46	5,08	5,11	4,12
t	cmol/dm <sup>3</sup>	1,44	3,95	5,62	5,16	5,20	4,17
T	cmol/dm <sup>3</sup>	2,62	6,63	7,86	6,72	6,67	5,26
V	%	20,45	56,25	69,42	75,60	76,62	78,25
m	%	62,50	5,57	2,85	1,55	1,73	1,20
M.O.	dag/kg	1,41	1,16	1,35	1,15	1,41	1,23
P-Rem	mg/L	35,09	58,94	56,83	58,70	58,94	58,47
Zn*	mg/dm <sup>3</sup>	1,18	3,40	4,69	4,42	4,73	4,31
Fe	mg/dm <sup>3</sup>	69,08	66,72	82,27	76,37	78,65	69,26
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	1,30	2,21	4,43	4,84	9,06	7,50
Cu*	mg/dm <sup>3</sup>	0,04	0,72	0,83	0,96	0,78	0,79
B	mg/dm <sup>3</sup>	0,13	0,07	0,08	0,12	0,11	0,09
S	mg/dm <sup>3</sup>	8,64	212,47	244,43	243,76	165,44	76,31
N	g/kg	1,40	1,46	1,46	1,50	1,52	1,58

SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; m = índice de saturação de alumínio; P-rem = Fósforo remanescente; V = Índice de Saturação de Bases; M.O. = Matéria Orgânica  
 \* Valores de referência para o controle de qualidade de solo agrícola para Zn e Cu respectivamente = 60 e 35mg·kg<sup>-1</sup> (CETESB, 2005).

Observando a Tabela 4, evidencia-se que de fato o fornecimento de nutrientes para as plantas via fertirrigação em relação à composição do solo ao final do período cultivado foi equivalente à obtida pela adubação mineral, com teores adequados de macro e micronutrientes para as plantas, demonstrando ser um solo fértil para cultivo o que refletiu na produtividade de biomassa dentro dos tratamentos.

Um dos melhores indicativos de qualidade de um solo é o teor de matéria orgânica (M.O.) deste (BROCH e RANNO, 2013), em que todos se encontravam com praticamente o

mesmo potencial, independente do tratamento, o mesmo ocorrendo com muitos dos nutrientes minerais fornecidos via ARB, independente do tratamento, somente alguns elementos como fósforo (P) e potássio (K<sup>+</sup>) encontravam-se mais elevados nos tratamentos com ARB, mas não apresentou um aumento em relação à concentração de Nitrogênio (N) fornecida. Esse aumento nos níveis também foi encontrado por Yasmeeen et al. (2014) trabalhando com águas residuárias, verificou que a fertirrigação promoveu aumento moderado de N e P.

No presente estudo, o aumento de N nos solos não foi verificado, mesmo estando em maiores concentrações, possivelmente devido ao fato de as plantas terem assimilado em seu metabolismo, no entanto, isso não refletiu no ganho de biomassa na citronela (HAMACHER et al., no prelo, 2020). Entretanto, Yasmeeen et al. (2014) verificaram incrementos no crescimento e no rendimento em *Vigna radiata* L.

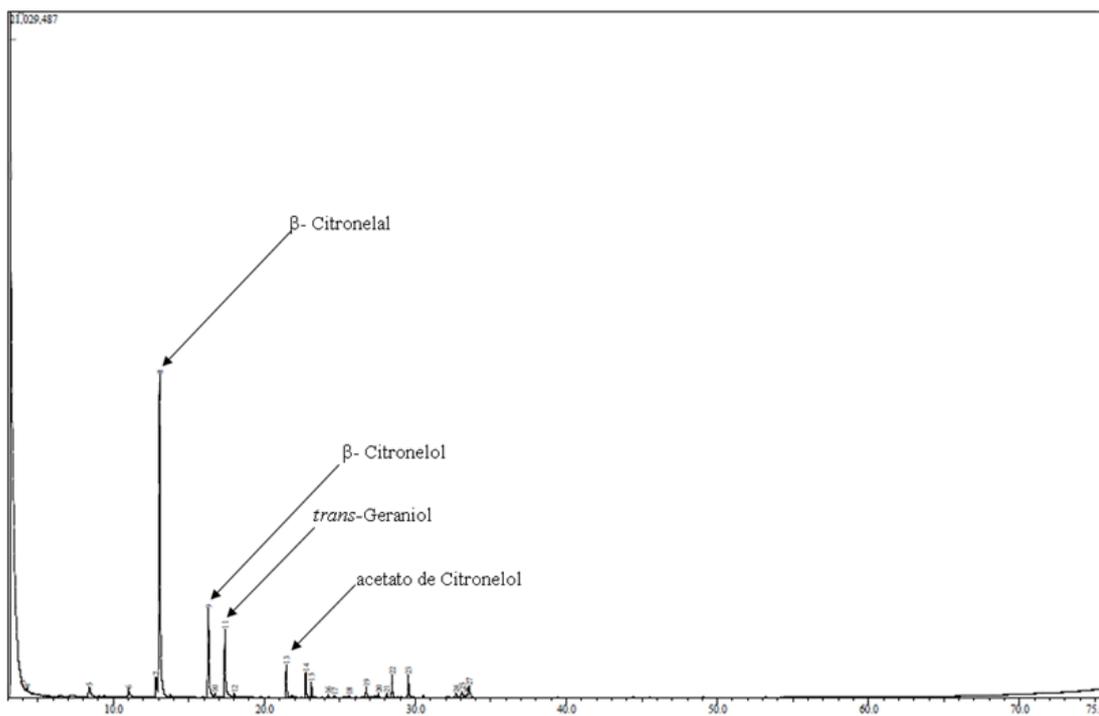
Estudos realizados com aplicação de águas residuárias sanitárias tratadas (SANTOS et al., 2017), constataram que os nutrientes do solo e a matéria orgânica não aumentam com doses de águas residuais sanitárias tratadas até 0,8m de profundidade, sendo pH do solo e o sódio trocável que aumentaram linearmente com as doses de águas residuais tratadas, respectivamente, até 0,6 e 0,8m de profundidade do solo, o mesmo verificado para o pH neste experimento, no entanto, em menor intensidade. Esses mesmos autores ainda destacam que a fertirrigação pode ameaçar o equilíbrio do sistema solo-planta com o uso contínuo, devido principalmente ao alto teor de sódio em que poderão conter.

A utilização da fertirrigação com águas residuais de gado leiteiro para o cultivo do tomateiro demonstrou que houve efeito linear crescente na produção, na produtividade acumulada e no acúmulo dos nutrientes nas folhas em função da dose de ARB sendo que o maior rendimento semanal e agregado de tomate, bem como o maior teor foliar de nutrientes, foram observados quando 400% da dose de nitrogênio recomendada para o tomate foi utilizada, entretanto, os autores ainda indicam que deve ser realizada a adubação nitrogenada no cultivo orgânico do tomateiro pode ser realizada por meio da fertirrigação com a ARB, mas que deve ser complementada na forma mineral, visando fornecer a quantidade adequada de fósforo e potássio para as plantas (JORGE et al., 2017).

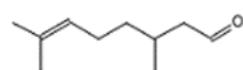
### 5.5.2 Produção de Óleo Essencial

Os resultados da cromatografia gasosa acoplada ao espectrofotômetro de massas (CG/EM) com a identificação das substâncias encontradas no óleo essencial da citronela após o cultivo de 183 dias de aplicação de ARB estão contidos na Figura 5. Nesta figura também está representado o tratamento em que não ocorreu aplicação de ARB, no entanto, para os demais tratamentos, somente diferem em relação à concentração de nitrogênio presente na ARB.

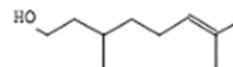
A biblioteca do CG/EM, tendo como base o tempo de retenção de cada pico e o padrão de fragmentação molecular obtido, permite identificar que substâncias estão presentes nas amostras injetadas naquele equipamento. Ainda com relação aos picos presentes nos cromatogramas, estes refletem as áreas, e essas são proporcionais à concentração de cada substância na amostra injetada. Neste trabalho, as substâncias identificadas em maior concentração no óleo essencial do *Cymbopogon nardus* foram:  $\beta$ -Citronelal,  $\beta$ -Citronelol, *trans*-Geraniol e acetato de Citronelol, que são classificadas como monoterpenos e sesquiterpenos, sendo a estrutura dos principais componentes isolados mostrada na Figura 6.



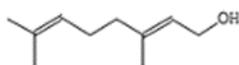
**Figura 5** – Cromatograma das substâncias presentes no óleo essencial da citronela e seus respectivos tempos para o tratamento sem cortes nas raízes e folhas. Fonte: Autor



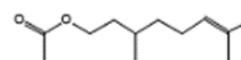
*β*-citronelal



*β*-citronelol



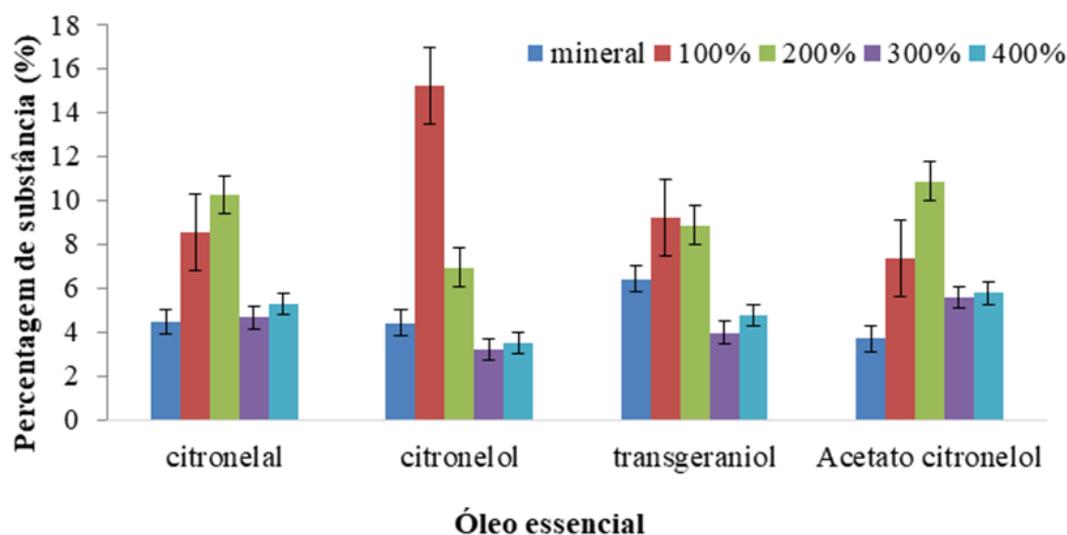
*trans*-geraniol



Acetato de citronelol

**Figura 6** – Estrutura das quatro substâncias majoritárias encontradas nas amostras. Fonte: Lacerda (2015); Daflon (2016).

Dentre as substâncias analisadas, a maioria foi a *β*-Citronelal para todos os tratamentos, o mesmo encontrado também por Lacerda (2015) com diferentes composições de substratos e Daflon (2016) com diferentes proporções de desbaste no sistema radicular e na parte aérea das citronelas. No entanto, não houve diferença entre os tratamentos analisados (Figura 7 e Tabela 5).



**Figura 7** – Percentagem das substâncias em cada tratamento, após 183 dias de cultivo (testemunha (mineral), tratamento 1 (ARB-100% Nitrogênio), tratamento 2 (ARB-200% Nitrogênio), tratamento 3 (ARB-300% Nitrogênio) e tratamento 4 (ARB-400% Nitrogênio). Barra indica o Erro Padrão.

**Tabela 5** – Quantidade de óleo essencial (unidade) obtido em cada tratamento

Tratamentos	Óleos Essenciais			
	Acetato	Citronelal	Citronelol	<i>trans</i> -Geraniol
Mineral	3,71 Aa	4,48 Aa	4,42 Aa	6,43 Aa
100% ARB	7,34 Aa	8,58 Aa	15,19 Aa	9,22 Aa
200% ARB	10,88 Aa	10,26 Aa	6,96 Aa	8,89 Aa
300% ARB	5,60 Aa	4,67 Aa	3,23 Aa	3,98 Aa
400% ARB	5,78 Aa	5,32 Aa	3,50 Aa	4,79 Aa

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Outros trabalhos desenvolvidos com citronela (CASTRO et al., 2007; MAHALWAL; ALI, 2002), em diferentes condições edafoclimáticas, identificaram os constituintes do óleo essencial da espécie *C. nardus* por CG/EM e encontraram como constituintes do óleo essencial, compostos como monoterpênicos e sesquiterpênicos, sendo majoritários o Geraniol, o Citronelol, o Citronelal, o elemol, o (E)-nerolidol e o beta-cariofileno. Porém, vale destacar que, quando se trata de material vegetal que possuem princípios ativos, há vários fatores que podem alterar a composição química, como no teor dos óleos essenciais, conforme Verma et al. (2013), descreve que nos períodos de inverno, há maior rendimento do óleo essencial e também Castro et al. (2010), verificaram que teor de óleo essencial obtido aos 168 dias após plantio foi o que apresentou maior projeção de produção.

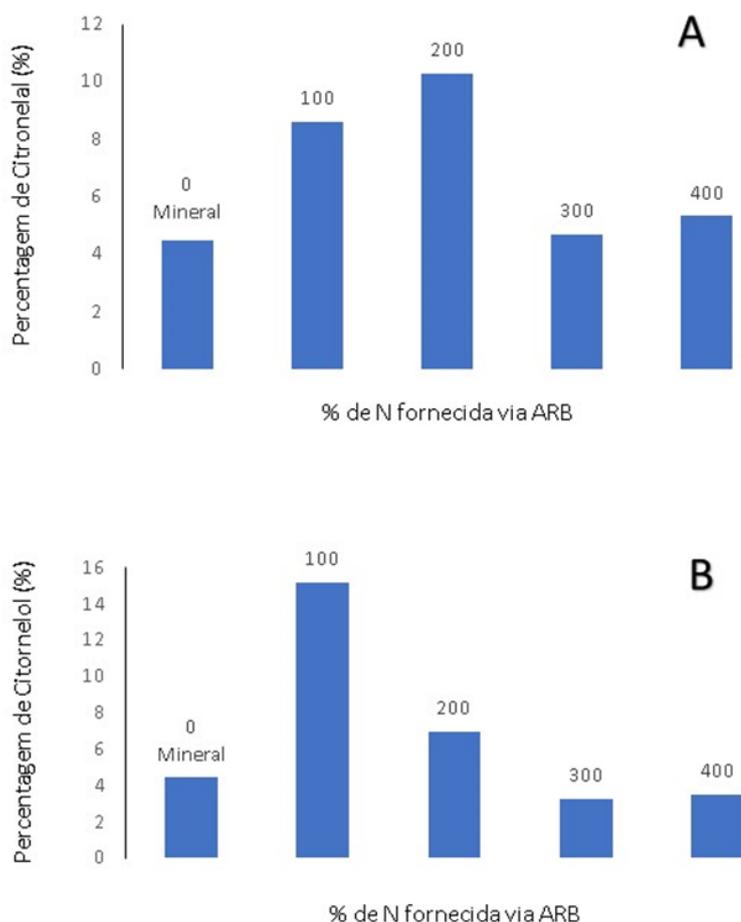
A produção de metabólitos secundários que são responsáveis pela bioatividade das plantas é determinada por vários fatores, sendo o climático um dos principais (JAMWAL et al., 2018). Vários estudos com plantas medicinais relatam que as variações nos princípios ativos podem ser alterados por sazonalidade (NCUBE et al., 2011), distribuição geográfica (ASASE

e PETERSON, 2019), estresse hídrico (ZHANG et al., 2017) períodos de colheita e manejo (SHARMA e KALA, 2018), dentre outros fatores.

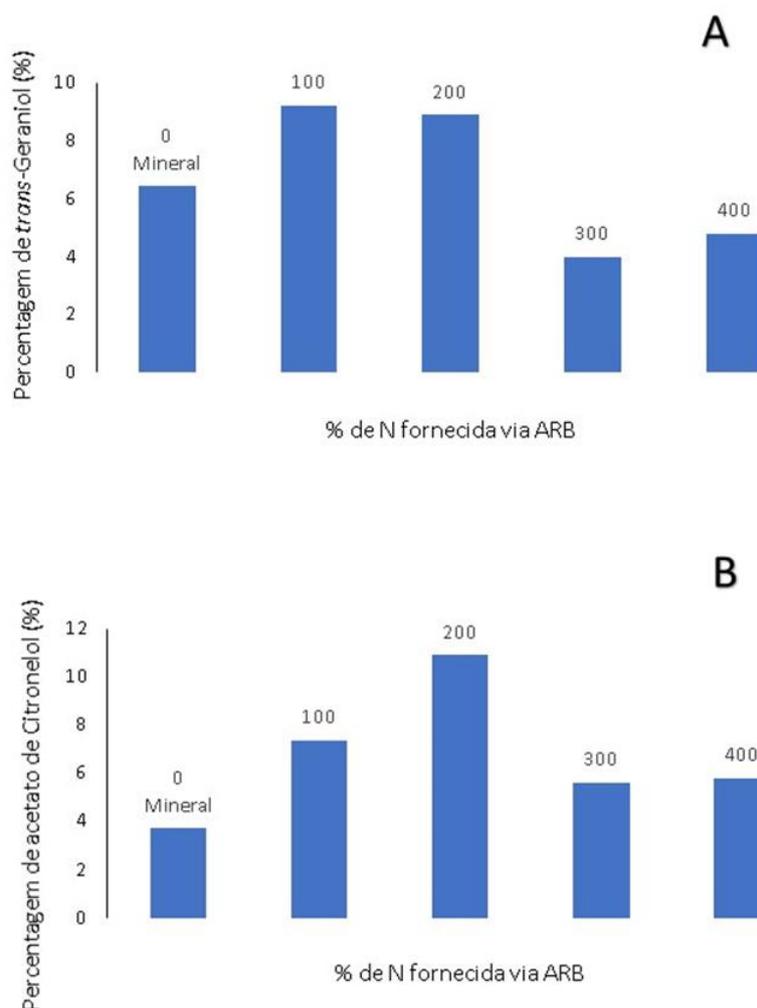
Elementos minerais também podem interferir na produção de metabólitos secundários, como por exemplo, o manganês (Mn), que atua como um importante cofator para várias enzimas chave na biossíntese dos metabólitos secundários da planta associados com a via do ácido chiquímico (MASSONI DE ANDRADE et al., 2011). Nesse trabalho observou-se que o Mn apresentou um aumento em relação a aplicação de ARB no solo (Tabela 4), mas isso, não interferiu em uma maior produção de compostos ativos, pois a via de produção dos terpenos é a via do mevalonato e de outras vias alternativas utilizando por exemplo piruvato mais o 3-ácido fosfoglicérico (3PGA).

Levando em conta que foram identificadas várias substâncias presentes no óleo, e entre essas, as de maior concentração, foram pormenorizadamente estudados neste trabalho às quatro substâncias encontradas em maior proporção nas análises, como o  $\beta$ -Citronelal,  $\beta$ -Citronelol, *trans*-Geraniol e Acetato de citronelol (Figura 7).

Dessa forma, também foi realizada a análise de regressão (Figuras 8 e 9) e não apresentaram relação positiva pela análise de regressão, não sendo possível traçar uma reta e, além disso, os pontos estavam muito distantes entre si, dessa forma, apresentando resíduos muito elevados bem como o coeficiente de variação também estar elevado (Anexo).



**Figura 8** – Percentagens de Citronelal (A) e de Citronelol (B) encontrados em cada tratamento.



**Figura 9** – Percentagens de trans-Geraniol (A) e de acetato de Citronelol (B) encontrados em cada tratamento.

Abordando as diferentes lâminas de fornecimento de ARB e adubação mineral, em relação ao conteúdo de óleo essencial, por meio dos dados da cromatografia gasosa acoplada ao espectrofotômetro de massas, obteve-se a área de cada substância em todas as amostras e os rendimentos percentuais de cada tratamento e esses resultados estão nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** – Substâncias presentes no óleo essencial da citronela em maiores quantidades e seus rendimentos

TR min	RENDIMENTOS % (p/p)	1,22	0,95	1,01	1,03	1,29
	Tratamentos	Adubação mineral	100% N via ARB	200% N via ARB	300% N via ARB	400% N via ARB
	Substância	área do sinal	área do sinal	área do sinal	área do sinal	área do sinal
14.0	$\beta$ -Citronelal	50979984	97685401	116791714	53158768	60529825
17.1	$\beta$ -Citronelol	17961006	23126580	28243042	13115917	14224740
18.3	trans-Geraniol	16775111	24064888	23190814	10388087	12518365
22.5	Acetato de Citronelol	2615326	5175878	7672704	3950395	4077571

**Tabela 7** – Quantidade de óleo essencial e rendimentos

<b>Tratamentos</b>	<b>Média Massa Fresca (g)</b>	<b>Média Óleo Essencial (g)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Adubação Mineral	253,33	3,078	1,22
100% N via ARB	250,00	2,382	0,95
200% N via ARB	238,67	2,406	1,01
300% N via ARB	247,33	2,541	1,03
400% N via ARB	247,33	3,198	1,29

No tratamento em que não foi fornecido ARB, ou seja, somente adubação mineral, foi o que apresentou maior massa fresca, mas não diferiu estatisticamente dos demais (HAMACHER et al., *no prelo*, 2020), e isso também não refletiu em maior produção de óleo, pois o tratamento que apresentou maior rendimento de óleo foi o com aplicação de 400% da dose de Nitrogênio via fornecimento de ARB, mas sem diferença para o tratamento com adubação mineral.

O rendimento do óleo, nessas condições experimentais, demonstrou que independente do tratamento aplicado, a produção de óleo foi equivalente para todos os tratamentos e não apresentou uma relação dose dependente com a aplicação da ARB.

Para quatro substâncias analisadas as diferentes concentrações de nitrogênio fornecidas pela ARB não interferiram, bem como obtiveram respostas iguais ao controle (adubação mineral), no entanto, seria interessante haver um tratamento como controle zero (fertilidade natural do solo), ou seja, sem fornecimento de nenhum elemento mineral, somente o que já continha no solo, pois Lacerda (2015) verificou que o período de coleta influencia muito para essa espécie, pois mesmo trabalhando com diferentes substratos, dependendo do período de coleta havia uma relação com os tratamentos, indicando assim que a idade da planta e também o estágio de desenvolvimento interferem no rendimento do óleo essencial, o que pode ter ocorrido neste trabalho.

De um modo geral, o efeito da utilização da ARB para produção de citronela é indicado, pois se apresenta de modo equivalente a adubação mineral e além disso, a fertirrigação pode ser uma viabilidade viável, principalmente pelo fornecimento de nutrientes assim como em conjunto promover disponibilidade hídrica para as plantas e conseqüentemente também recuperar solos degradados apoiando o crescimento das plantas.

## 5.6 CONCLUSÕES

A aplicação de ARB leiteira promove a fertilização do solo, aumentando a disponibilização de nutrientes no solo para as plantas, desde que aplicadas em lâminas calculadas para a cultura da citronela, entretanto, isso não interfere em maior produção de óleos essenciais nestas plantas.

Por outro lado, destaca-se que estes resultados indicam a possibilidade de não dependência de insumos externos (adubação mineral) para a manutenção da produtividade e consequente redução dos custos relacionados a esta atividade quando se utilizar ARB com lâminas devidamente calculadas.

Por fim, destaca-se que a utilização da ARB para o cultivo da citronela pode ser indicada como uma boa destinação para um resíduo que muitas vezes, subaproveitado, torna-se um passivo ambiental para solos e corpos hídricos diversos onde o descarte costumeiramente é realizado.

## 5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Água – Determinação do pH - Método eletrométrico**. NBR 9251. 1986.
- AGNOLIN, C.A.; OLIVO, C.J.; LEAL, M.L.R.; BECK, R.C.R.; MEINERZ, G.R.; PARRA, C.L.C.; MACHADO, P.P.R.; FOLETTO, V.; BEM, C.M.; NICOLODI, P.R.S.J. **Eficácia do óleo de citronela [*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle] no controle de ectoparasitas de bovinos**. Revista brasileira de plantas medicinais, v.12, 2010.
- ASASE, A., & PETERSON, A. T. **Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild**. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 100206. 2019.
- BROCH, D.L. e RANNO, S.K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. In: Fundação MS, Tecnologia de produção de soja e milho 2011/2012. Maracaju, 2013. p.3-39.
- BRUNETON, J. **Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales**. Technique et Documentation Lavoisier. p. 915. Paris, 1993.
- CASTRO, H. G.; BARBOSA, L. C. A.; LEAL, T. C. A. B.; SOUZA, C. M.; NAZARENO, A. C. **Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.)**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, v. 9, n. 4, p. 55-61, 2007.
- CASTRO, H. G.; PERINI, V. B. M.; SANTOS, G. R.; LEAL, T. C. A. B. **Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita**. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 2, p. 308-314, 2010.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Agricultural Experimental Station, Berkely, Bulletin no 670, 1942. 124 p.
- DAFLON, T.M. **Estresse pela aplicação de diferentes proporções de desbaste radicular e cortes na parte aérea para o capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle)**. Dissertação de mestrado Engenharia de Biosistemas – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 105 p, 2016.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro. 212p.: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1), 1997.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. **Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p.467-477, 2010.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. Ciênc. agrotec. vol.38, n.2, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. **Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil.** Scientia Agricola, v. 64, n.2, p.194-209, 2007.

FURLAN, M.R. Roberto Carlos C. Martins; Eliana Rodrigues; Nayara Scalco; Giuseppina Negri; João Henrique G. Lago. **Variação dos teores de constituintes voláteis de *Cymbopogon citratus* (DC) Staf, Poaceae, coletados em diferentes regiões do Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Farmacognosia, v.20, n.5, p.686-691, 2010.

HAMACHER, L.S.; HÜTHER, C.M.; SILVA, L.D.B. CARMO, D.F; COUTADA, J.M.; SCHTRUK, T.G. PEREIRA, C.P.; CECCHIN, D.; MACHADO, T.B.; PINHO, C.F. **Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na atividade fotoquímica e na biomassa.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais. No prelo, 2020.

HERNANDEZ-LAMBRAÑO, R.; PAJARO-CASTRO, N.; CABALLERO-GALLARDO, K.; STASHENKO, E. OLIVERO-VERBEL, J. **Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests.** Journal of Stored Products Research, v.62, p. 81-83, 2015.

JAMWAL, K., BHATTACHARYA, S., & PURI, S. **Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants.** Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, n.9, p. 26–38. 2018.

JORGE, M.F.; PINHO, C.F.; NASCENTES, A.L.; ALVES, D.G.; ALMEIDA, G.V.; SILVA, J.B.G.; & SILVA, L.D.B. **Tomato fertigation with dairy cattle wastewater.** Horticultura Brasileira, n.35, v.2, p. 230-234. 2017. <https://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620170212>

KPOVIESSI, S.; BERO, J.; AGBANI, P.; GBAGUIDI, F.; KPADONOU-KPOVIESSI, B.; SINSIN, B.; ACCROMBESSI, G.; FRÉDÉRICH, M.; MOUDACHIROU, M.; QUETINLECLERCQ, L. **Chemical composition, cytotoxicity and in vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activity of the essential oils of four *Cymbopogon* species from Benin.** Journal of Ethnopharmacology, v.151, p. 652- 659, 2014.

LACERDA, K. de A. **Análise do crescimento e do teor de óleos essenciais em *Cymbopogon nardus* sob diferentes composições de substratos /** Dissertação de mestrado Engenharia de Biosistemas – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2015. 53 f.

MAHALWAL, V. S.; ALI, M. **Volatile constituents of *Cymbopogon nardus* (Linn.) Rendle.** Flavor and Fragrance Journal, v. 18, n. 01, p. 73-76, 2002.

MASSONI DE ANDRADE, G. J.; ROSOLEM, C. A. **Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosate.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 3, junho, pp. 961-968, 2011.

MATOS, A.T.; **Disposição de águas residuárias no solo.** Viçosa, MG: AEAGRI, 2006. 142p. (Caderno Didático n. 38).

MORRISON, G.; FATOKI, O. S.; PERSSON, L.; EKBERG, A. **Assessment of the impact of point source pollution from the Keiskammahoek Sewage Treatment Plant on the**

**Keiskamma River - pH, electrical conductivity, oxygen demanding substance (COD) and nutrients.** Water SA, v.27, p.475-480, 2001.

NASCIMENTO, J.C.; BARBOSA, L.C.A.; PAULA, V.F.; DAVID, J.M.; FONTANA, R.; SILVA, L.A.M.; FRANÇA, R.S. **Chemical composition and anti-microbial activity of essential oils of *Ocimumcanum Sims.* and *Ocimumselloi Benth.*** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.83, p.787-799, 2011.

NCUBE, B., FINNIE, J. F., & VAN STADEN, J. **Seasonal variation in antimicrobial and phytochemical properties of frequently used medicinal bulbous plants from South Africa.** South African Journal of Botany, n.77, v.2, p. 387–396, 2011.

OLIVEIRA, M.M.M.; BRUGNERA, D.F.; CARDOSO, M.G.; GUIMARÃES, L.G.L.; PICCOLI, R.H. **Rendimento, composição química e atividade antilisterial de óleos essenciais de espécies de *Cymbopogon*.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 13, p. 8-16, 2011.

PERINI, V.B. de M.; CASTRO, H.G. de; SANTOS, G.R. dos; AGUIAR, R.W. de S.; LEÃO, E.U.; SEIXAS, P.T.L. **Avaliação do efeito curativo e preventivo do óleo essencial do capim citronela no controle de *Pyriculariagrisea*.** Journal of Biotechnology and Biodiversity, v.2, p.23-27, 2011.

SANTOS, S.R.; RIBEIRO, D.P.; MATOS, A.T.; KONDO, M.K.; & ARAÚJO, E.D. **Changes in soil chemical properties promoted by fertigation with treated sanitary wastewater.** Engenharia Agrícola, n. 37, v.2, 343-352, 2017.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

SEIXAS, P. T. L.; CASTRO, H. C.; SANTOS, G. R.; CARDOSO, D. P. **Controle fitopatológico do *Fusariumsubglutinans* pelo óleo essencial do capim-citronela (*Cymbopogon nardus L.*) e do composto citronelal.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu, v. 13, p. 523-526, 2011.

SHARMA, N., & KALA, C. P. **Harvesting and management of medicinal and aromatic plants in the Himalaya.** Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, v.8, p. 1–9, 2018.

SILVA, C.J.; BARBOSA, L.C.A.; DEMUNER, A.J.; PINHEIRO, A.L.; DIAS, I.; ANDRADE, N.J. **Chemical composition and antibacterial activities from the essential oils of myrtaceae species planted in Brazil.** Química Nova, v.33, p.104-108, 2010.

SILVA, J.G.D. CARVALHO, J.J.; DA LUZ, J.M.R.; DA SILVA, J.E.C. **Fertigation with domestic wastewater: Uses and implications.** African Journal of Biotechnology. Vol. 15(20), pp. 806-815, 18 May, 2016. DOI: 10.5897/AJB2015.15115.

SMITHA, G.R.; RANA, V.S. **Variations in essential oil yield, geraniol and geranyl acetate contents in palmarosa (*Cymbopogon martinii*, Roxb. Wats. var. *motia*) influenced by inflorescence development.** Industrial Crops and Products. v. 66, p. 150–160, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6ª ed. Artmed Ed. 2017.

VELOSO, R.A. et al. **Composição e fungitoxicidade do óleo essencial de capim citronela em função da adubação orgânica.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.12, p. 1707-1713, 2012.

VERMA, J.P., J. YADAV, K.N. TIWARI AND A. KUMAR. **Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture.** Ecol. Eng., 51: 282-286. 2013.

YASMEEN, T., ALI, Q., ISLAM, F., NOMAN, A., AKRAM, M. S., & JAVED, M. T. **Biologically treated wastewater fertigation induced growth and yield enhancement effects in *Vigna radiata* L.** Agricultural Water Management. n. 146, p. 124–130, 2014.

ZHANG, W., CAO, Z., XIE, Z., LANG, D., ZHOU, L., CHU, Y.; ZHAO, Y. **Effect of water stress on roots biomass and secondary metabolites in the medicinal plant *Stellaria dichotoma* L. var. *lanceolata* Bge.** Scientia Horticulturae, n.224, p.280–285, 2017.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as condições edafoclimáticas de Niterói e as especificidades da água residuária de bovinocultura e solo utilizados neste experimento, pode-se afirmar que, nestas condições, apesar de não se ter observado variações estatisticamente significativas na quantidade de óleo essencial produzido, tampouco houve prejuízo, enquanto também não se observou, para o período analisado, nenhum problema com relação ao solo após os tratamentos. Assim, conclui-se que o uso de água residuária de bovinocultura pode substituir o uso de adubação mineral de N para as produções de capim citronela em pequenas propriedades, mitigando a questão do impacto ambiental relacionado ao descarte indevido em solo ou corpos hídricos e mantendo um padrão de produção de óleo essencial.

Cabe ressaltar que novos trabalhos semelhantes devem ser realizados para se preencher as lacunas sobre formas de produzir o capim citronela de forma sustentável e economicamente rentável. Assim, após as observações realizadas durante a condução deste experimento, recomendam-se alguns caminhos potenciais, notadamente a avaliação em mais plantios consecutivos numa mesma área, a condução do experimento em sol pleno e com plantio direto no solo. Além disso, ajustes na forma de aplicação da água residuária, passando-a por um processo mínimo de filtragem irão evitar a formação de crostas sobre o solo que podem interferir nos resultados observados.