



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020017032-5 A2



(22) Data do Depósito: 20/08/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 03/03/2022

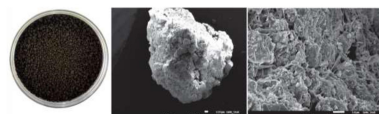
(54) **Título:** COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO ENRIQUECIDO COM POTÁSSIO E SEU USO COMO FERTILIZANTE

(51) **Int. Cl.:** C05G 1/00; C05G 3/00.

(71) **Depositante(es):** FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASILIA.

(72) **Inventor(es):** CÍCERO CÉLIO FIGUEIREDO; AILTON TEIXEIRA DO VALE; JOISMAN FACHINI.

(57) **Resumo:** COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO ENRIQUECIDO COM POTÁSSIO E SEU USO COMO FERTILIZANTE. A presente invenção refere-se a um fertilizante organomineral, denominado Biochar-K, que é obtido pela granulação do biochar de lodo de esgoto junto com o cloreto de potássio. Tal fertilizante apresenta sinergismo entre seus componentes e características físico-químicas que promovem a liberação do potássio de forma sincronizada e menos sujeita a perdas por lixiviação. Ademais, no Biochar-K todos os nutrientes estão distribuídos de forma homogênea em todos os grânulos, permitindo uma adubação eficiente e uniforme. Além disso, a presente tecnologia apresenta boas características nutricionais, contendo concentração de potássio 52,2 vezes maior do que a concentração presente no biochar de lodo de esgoto comum.



COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO ENRIQUECIDO COM POTÁSSIO E SEU USO COMO FERTILIZANTE

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção encontra-se no campo técnico de fertilizantes organominerais. Refere-se a um fertilizante a base de lodo de esgoto pirolisado (biochar) enriquecido com uma fonte solúvel de potássio, por meio do processo de granulação. O fertilizante agrega as boas características físico-químicas do biochar, como a presença de cargas químicas de superfície, o que libera o potássio no solo de forma sincronizada e eficiente.

ESTADO DA TÉCNICA

[002] O potássio (K) é um macronutriente exigido em grandes concentrações, sem o qual as plantas não conseguem completar seu ciclo de vida. Sua aplicação ao solo se dá, principalmente, por meio dos adubos convencionais, predominantemente na forma de sais, tais como cloreto de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K_2SO_4). O consumo de fertilizantes potássicos no Brasil ocupa o primeiro lugar entre os fertilizantes convencionais. Apenas no ano de 2018, no Brasil, houve um consumo de mais de 9,5 milhões de toneladas de KCl.

[003] Devido à baixa capacidade de retenção de cátions dos solos brasileiros, o K normalmente sofre o processo de lixiviação, sendo carregado para camadas mais profundas do solo, podendo alcançar o lençol freático em alguns casos. Portanto, grande quantidade desse nutriente é perdido, sem

aproveitamento pelas plantas, o que obriga os produtores rurais a utilizarem grandes quantidades de K, tornando a adubação um dos principais custos de produção.

[004] Nesse contexto, os adubos convencionais normalmente aplicados são sais de K com alta solubilidade no solo, sujeitos, portanto, a perdas e dessincronização de liberação/solubilização do K em relação aos demais nutrientes aplicados (como as fontes de fósforo e nitrogênio). Ademais, como alternativa aos fertilizantes convencionais minerais, existem os fertilizantes organominerais. Porém, os tipos disponíveis de organominerais normalmente consistem somente na mistura de grânulos de fontes de minerais separados e fonte orgânica, o que não garante uma distribuição homogênea de nutrientes durante a aplicação do fertilizante.

[005] Por outro lado, o lodo de esgoto é um resíduo produzido em grande quantidade, com grande potencial para ser utilizado como adubo orgânico após processamento, conforme tem sido amplamente estudado (Torri et al., 2017; Collivignarelli et al., 2019). Entretanto, devido à presença de poluentes e microrganismos patogênicos, o uso direto do lodo de esgoto na agricultura tem sido evitado. Para contornar essa limitação, o tratamento térmico desse lodo por meio da pirólise tem se mostrado promissor por eliminar os patógenos e manter sua concentração dos nutrientes.

[006] O resultado obtido a partir da pirólise do lodo de esgoto é conhecido por biochar, um produto altamente poroso, que apresenta de nano a macroporos, alta capacidade de adsorção de nutrientes, e rico em carbono estável que pode

se acumular no solo por centenas de anos. No entanto, apesar de possuir baixo risco de contaminação com metais pesados (Figueiredo et al., 2019) e boas concentrações de fósforo (P), nitrogênio (N) e cálcio (Ca), o biochar de lodo de esgoto é pobre em K.

[007] Na literatura, diversos trabalhos exploram a natureza dos biochars advindos de diversas fontes, como o estudo de Schmidt e colaboradores, que aborda biochars obtidos de diversas matérias-primas diferentes do lodo de esgoto (SCHMIDT et al., *Land Degrad. Develop.* v.28, p.2324-2342. **2017**). Diferente do biochar de lodo de esgoto, os biochars utilizados no trabalho não apresentam limitação desse nutriente e a matéria prima apresenta diferentes teores de K, diferindo da presente proposta. Além disso, o estudo apresenta simples mistura dos biochars com os diversos resíduos orgânicos e fertilizantes, sem utilizar, para tal, tecnologia de granulação ou técnica similar, como é abordado na presente tecnologia.

[008] Já o estudo de Yuan e colaboradores (2013), intitulado "Influence of temperature on product distribution and biochar properties by municipal sludge pyrolysis" tem como principal enfoque a compreensão dos efeitos da temperatura de pirólise sobre as características químicas e físicas dos biochars (YUAN H.; LU T.; ZHAO D. et al. *J Mater Cycles Waste Manag.*, v.15 p.357-361, **2013**). O trabalho apenas faz uma caracterização dos biochars produzidos e mostra que a temperatura de pirólise é um fator muito importante na produção de biochar. O estudo também mostra que alguns nutrientes são enriquecidos e outros são reduzidos com o aumento da temperatura de pirólise.

Diferente do trabalho citado, a presente tecnologia descreve o enriquecimento do biochar de lodo de esgoto com potássio por meio de processo de granulação, associando duas matérias-primas, que são cloreto de potássio (KCl) e biochar. Essas duas matérias-primas se complementam nas suas funções e geram um produto final mais completo como fertilizante organomineral.

[009] No estudo de Agrafioti e colaboradores (2013) não é demonstrado aumento no teor de nutrientes do biochar (AGRAFIOTI E., et al. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.101, p.72-78, **2013**). Apesar de incrementarem sais de K e P para produção de biochar, não há avaliação dos teores desses e dos demais nutrientes no produto final, diferentemente da presente tecnologia, que traz um biochar enriquecido com teores definidos de K que pode ser recomendado de forma precisa como fertilizante para diferentes cultivos. Além disso, o estudo tenta aumentar a área de superfície e a retenção de metais pesados, porém não emprega tecnologia para tornar o biochar um fertilizante enriquecido e completo.

[0010] O pedido de patente CN 105884448 descreve o preparo de um fertilizante a base de Biochar vegetal que é misturado com lodo de esgoto, fermentado e em seguida é adicionado fertilizante NPK. O composto além de servir de fertilizante também consegue imobilizar metais pesados presentes no solo. Porém, o documento supracitado distingue-se da presente tecnologia quanto ao tipo de biochar, uma vez que utiliza biochar de lodo de esgoto como matéria prima. Além disso, a incorporação de fonte mineral de K ao biochar por

granulação deixa o produto final com características físico-químicas desejadas em um fertilizante.

[0011] Na publicação internacional **WO 2014/189433** encontra-se o processo para o tratamento termal de resíduos que contenham ao menos fósforo, visando a produção de Biochar para ser usado como fertilizante. Como matéria prima, utiliza-se produtos residuais, incluindo lodo. Durante o processo de obtenção de Biochar podem ser usados materiais ricos em potássio como aditivos antes ou durante o tratamento termal. Já o documento patentário **CN 110229671** dispõe sobre método para o preparo de condicionador de solo. Envolve a desidratação do esgoto, sua carbonização para obtenção de biochar, sua mistura com fertilizantes contendo nitrogênio e potássio e também com outros compostos. Em ambas as tecnologias apresentadas, não é empregada a incorporação exclusiva de K por meio de granulação. A presente é um produto que utiliza apenas duas fontes: o biochar de lodo de esgoto e uma fonte solúvel de K, diferindo do que existe no estado da técnica.

[0012] Além disso, no documento **WO 2014/189433**, o tratamento térmico foi realizado em temperaturas elevadas (800-1100 °C), enquanto que na presente invenção o biochar de lodo é produzido a 300 °C, preservando a maior parte dos nutrientes, especialmente o nitrogênio. Já no documento **CN 110229671**, em vez de uma fonte mineral solúvel, usa-se um composto a base de esterco como fonte de potássio e nitrogênio, fazendo com que o produto final possua características totalmente distintas daquelas apresentadas na presente tecnologia.

[0013] Por fim, o documento patentário **CN 106242751** aborda a produção de biofertilizante modificado à base de Biochar de biomassa vegetal e excrementos misturado com aditivo derivado de algas (adicionado antes da pirólise) para prover potássio ao fertilizante. Os resíduos orgânicos são expostos a temperaturas de 250 a 500 °C para pirólise. Já o documento CN 106316673 trata sobre o método de obtenção de fertilizante a base de biochar de resíduos agrícolas, com aditivos à base de potássio para enriquecimento. O fertilizante também é capaz de mitigar metais pesados no solo e aumentar a atividade microbiana. De modo similar, o documento patentário **CN 105367200** aborda o preparo de fertilizante a base de biochar de resíduos agrícolas, árvores e bambu, misturado com fertilizante de potássio, agente bacteriano e um sinergista. O fertilizante descrito promove a imobilização de potássio, reduzindo sua perda no solo.

[0014] Nos três documentos citados acima, são utilizados biochars de resíduos agrícolas diversos, de modo que o uso de matérias-primas diferentes resulta na obtenção de biochars distintos. Os biochars obtidos de resíduos vegetais, principalmente de madeiras, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes como N e P. Nesse caso a obtenção de fertilizantes a partir desses produtos exigirá a mistura de diversas matérias-primas para o adequado fornecimento dos nutrientes. A presente tecnologia, por sua vez, combina o adequado fornecimento de N e P, oriundo do biochar, com o fornecimento do K da fonte mineral. Além disso, diferente dos documentos apresentados, o organomineral descrito na presente invenção pode

sincronizar a liberação de K tornando seu uso mais eficiente pelas plantas.

Isto posto, o estado da técnica não prevê ou sugere o desenvolvimento de um fertilizante organomineral obtido a partir de biochar de lodo de esgoto posteriormente enriquecido com uma fonte solúvel de potássio, por meio do processo de granulação, onde os grânulos apresentam a capacidade de liberação lenta desse elemento no solo.

DESCRIÇÃO SUCINTA DAS FIGURAS

[0015] A invenção poderá ser mais bem compreendida com base nas **Figuras** de **1** a **4**, cuja descrição segue abaixo:

[0016] A **Figura 1** mostra os grânulos do Biochar-K com detalhes obtidos por microscopia eletrônica demonstrando a completa incorporação do KCl na estrutura do biochar;

[0017] A **Figura 2** apresenta os espectros de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) de amostras de lodo de esgoto, biochar e biochar K. As setas em vermelho destacam o enriquecimento de K no Biochar-K.

[0018] A **Figura 3** mostra as matérias-primas utilizadas na granulação e obtenção do Biochar-K. A) Amido pré gelatinizado; B) KCl triturado e passado em peneira com malha 0,5mm; C) Biochar de lodo de esgoto pirolisado a 300°C, triturado e passado em peneira de 0,5 mm.

[0019] A **Figura 4** apresenta o granulador de bancada utilizado no processo de granulação do Biochar-K.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0020] Tendo em vista a baixíssima concentração de K no biochar, junto com a necessidade de uma liberação controlada de tal nutriente no solo, a presente invenção, denominada Biochar K, busca solucionar as elevadas perdas de K no solo com a aplicação de fertilizante potássico de alta solubilidade.

[0021] A presente invenção refere-se a uma composição granulada obtida a partir de biochar de lodo de esgoto e cloreto de potássio, bem como seu uso como fertilizante organomineral.

[0022] Uma primeira modalidade da presente invenção, diz respeito a composição denominada O Biochar K (Figura 1), um fertilizante organomineral composto pela mistura de duas matérias-primas por meio da técnica de granulação. O componente orgânico utilizado é o biochar de lodo de esgoto e a matéria-prima mineral é o KCl, um adubo mineral que apresenta alta solubilidade em água. O biochar é o produto sólido obtido após a pirólise do lodo de esgoto na temperatura de 300 °C. Nesta temperatura, a pirólise elimina todos os microrganismos patogênicos e mantém os nutrientes presentes no lodo de esgoto.

[0023] No Biochar K a concentração de K é 52,2 vezes maior do que no biochar de lodo de esgoto comum. Além disso, o granulado obtido é capaz de liberar o potássio de forma sincronizada, apresenta alto sinergismo entre seus componentes e promove uma liberação de potássio gradual, controlada e eficiente, o que culmina na redução de perdas por lixiviação. A fonte solúvel de potássio torna mais completo o biochar de lodo de esgoto. Além disso, no Biochar

K, todos os nutrientes estão distribuídos de forma homogênea em todos os grânulos, o que permite uma adubação eficiente e uniforme.

[0024] A obtenção do Biochar-K pode ser descrita pelas seguintes etapas:

A. Obtenção do biochar por meio da pirólise de lodo de esgoto;

B. Mistura do biochar obtido na **etapa A** com KCl e posterior trituração;

C. Pesagem e homogeneização da mistura obtida na **etapa B** e adição de agente aglutinante;

D. Passagem da mistura obtida na **etapa C** no granulador;

E. Peneiração da mistura obtida na **etapa D**;

F. Secagem em estufa e peneiração dos grânulos obtidos na **etapa E**.

[0025] A **etapa A** consiste na pirólise do lodo de esgoto seco (fornecido pelas estações de tratamento de esgoto) em forno de pirólise a uma temperatura de 300 °C, com taxa de aumento de temperatura de 2,5 °C min⁻¹ e tempo de residência de cinco horas.

[0026] Em seguida, na **etapa B**, o biochar de lodo de esgoto e o KCl na forma de adubo comercial contendo 60% de K₂O, são triturados e passados por peneira com malha de 0,50 mm (Figura 3).

[0027] Na **etapa C**, as matérias-primas peneiradas são pesadas e dosadas para se obter a taxa de enriquecimento de K no produto final. Depois disso, as matérias-primas são misturadas e homogeneizadas na presença de um aglutinador pré-gelatinizado (amido de milho pré-gelatinizado) (Figura 3). A quantidade do agente aglutinante é 5 % da massa total

do fertilizante produzido.

[0028] Já na **etapa D**, a granulação da mistura previamente obtida é realizada em um granulador de bancada composto por um recipiente circular, de alumínio, com diâmetro de 36 cm e altura de 7 cm posicionada em um ângulo entre 65 a 70° C (Figura 4) e acoplada em um motor que a faz girar a uma rotação de 40 rpm. A mistura das matérias-primas é então submetida a rotação no granulador. Durante a rotação, água destilada é aplicada sobre a mistura para iniciar o processo de aglutinação e a formação dos grânulos. A quantidade de água utilizada para a formação dos grânulos é de 20 ml para cada 50 g da mistura. O tempo para a formação total dos grânulos para uma massa de 50 g de matéria prima é de cerca de 5 minutos.

[0029] Após esse processo, segue-se para a **etapa E**, onde os grânulos são passados em um conjunto de peneiras entre 4,00 mm e 1,00 mm para que seja determinada a granulometria de acordo com a legislação sobre fertilizantes. Para ser considerado um fertilizante granulado, a legislação exige que os grânulos passem pela peneira de 4mm e fiquem retido na peneira de 1mm (faixa exigida pela legislação brasileira para adubos organominerais). O material que não passar pela maior malha e não ficar retido na malha de menor espessura volta ao triturador, e segue todo o processo novamente.

[0030] Por fim, na **etapa F**, o material granulado é levado a estufa a 60° C, permanecendo lá por 24h. Os grânulos, então, são passados novamente pelo conjunto de peneiras e aproveitados aqueles que ficarem com diâmetro entre 1,00 mm e 4,00 mm.

[0031] Uma segunda modalidade da invenção diz respeito ao

uso de dita composição como fertilizante organomineral a ser aplicado no solo, visando a distribuição uniforme de nutrientes, junto com a redução da perda por lixiviação. Quanto as suas características, o Biochar K possui pH 6,0 podendo ter efeito alcalinizante na região de aplicação do grânulo, o que é uma vantagem para sua aplicação no solo ácido do cerrado. Também apresenta em sua composição todos os macro e micronutrientes necessários pela planta, sendo, portanto, um fertilizante completo.

[0032] O Biochar K é um organomineral de biochar de lodo de esgoto enriquecido com potássio que apresenta alto sinergismo entre seus componentes. Diferente de outros fertilizantes, o Biochar K promove uma liberação de potássio gradual, controlada e eficiente devido as características físico-químicas do biochar, como a presença de cargas químicas de superfície. Devido a formulação obtida através da granulação, o Biochar K libera o potássio de forma sincronizada e menos sujeita a perdas por lixiviação. Um ponto importante do Biochar K é que diferente de alguns fertilizantes comercializados no mercado, todos os nutrientes estão em todos os grânulos. A Outra característica diferenciada do Biochar K é a possibilidade de obtenção de organominerais com diferentes taxas de enriquecimento de potássio (diferentes formulados NPK), o que amplia o uso do fertilizante para culturas com diferentes demandas por K. O Biochar K também se diferencia de outros organominerais pela presença da matriz orgânica pirogênica do biochar que, diferente de outros outros resíduos orgânicos normalmente usados (como cama de

aviário), apresenta maior estabilidade no solo, podendo apresentar menor emissão de gases de efeito estufa do que resíduos orgânicos facilmente decomponíveis.

EXEMPLOS

[0033] Os exemplos descritos a seguir têm por finalidade mostrar com mais detalhes alguns exemplos da presente invenção. É importante enfatizar que esta invenção não se limita aos exemplos descritos a seguir, podendo ser utilizada não somente nas aplicações descritas, mas também em quaisquer variações equivalentes.

EXEMPLO 1: Características químicas e físicas do Biochar-K

[0034] A tabela 1 apresenta as características químicas e físicas obtidas para as matérias-primas lodo de esgoto e biochar comparados com as características do biochar K.

Tabela 1

Característica	Lodo de esgoto	Biochar	Biochar K
pH	6,4	6,5	6,0
Teor de cinzas (%)	32,4	38,2	39,6
CT (%)	25,1	27,2	25,3
NT (%)	3,97	4,37	3,11
P ₂ O ₅ total (%)	4,75	5,54	5,21
K ₂ O total (%)	0,04	0,06	3,13
Ca total (%)	0,59	0,66	0,56
Mg total (%)	0,14	0,15	0,14
S total (%)	0,13	0,15	0,12
Zn (mg/kg)	379	454	415
Cu (mg/kg)	82,9	92,7	121
Mn (mg/kg)	81,4	93,5	103

Fe (mg/kg)	15927,0	19266,0	17300,0
B (mg/kg)	26,4	29,0	26,0
Densidade aparente (g/cm ³)			0,44
Densidade do grânulo (g/cm ³)			1,06
Dureza (kg)			0,713

[0035] Verifica-se que após processo de granulação, no Biochar K a concentração de K é 52,2 vezes maior do que no biochar de lodo de esgoto. Esse resultado confirma que a granulação é eficiente em mantém todo o K adicionado, sem perdas desse nutriente durante a formação do grânulo. Além disso, o Biochar K mantém todas as boas características nutricionais do lodo de esgoto e do seu biochar. Por exemplo, o Biochar K apresenta 25,3% de carbono. Esse valor é 2,5 vezes maior do que o mínimo exigido para fertilizantes organominerais pela legislação brasileira.

[0036] Considerando que os solos brasileiros são normalmente ácidos, o pH 6,0 do Biochar K é um valor adequado para um fertilizante, podendo ter efeito alcalinizante na região de aplicação do grânulo. Além de NPK, o Biochar K também contém todos os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B e Cl), apresentando elevado valor nutricional. O Biochar K também preserva todas as características físicas do biochar de lodo de esgoto como elevada porosidade e área superficial. Essas características são fundamentais para a retenção de água e nutrientes no solo. Portanto, o Biochar

K apresenta vantagens múltiplas que vão além do fornecimento de nutrientes.

REIVINDICAÇÕES

1. COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL **caracterizada por** compreender biochar de lodo de esgoto e cloreto de potássio distribuído de forma homogênea em todos os grãos.

2. COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelos** grânulos serem compostos por:

(A) um biochar triturado, sendo definido como biochar de lodo de esgoto pirolisado a 300°C;

(B) KCl, sendo definido como na forma de adubo comercial contendo 60% de K₂O,

(C) aglutinador pré-gelatinizado, sendo definido como amido de milho pré-gelatinizado, na concentração de 5% em peso;

(D) água;

3. COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL, de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizada pela** presença de cargas químicas na superfície dos grânulos, que permitem liberação gradual de potássio no solo.

4. USO DA COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL, conforme qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, **caracterizada por** ser para aplicação como fertilizante organomineral.

FIGURAS

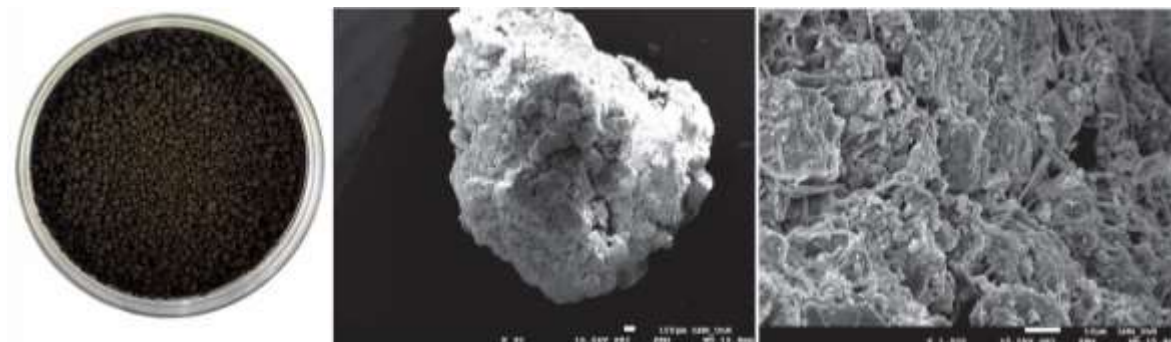


Figura 1

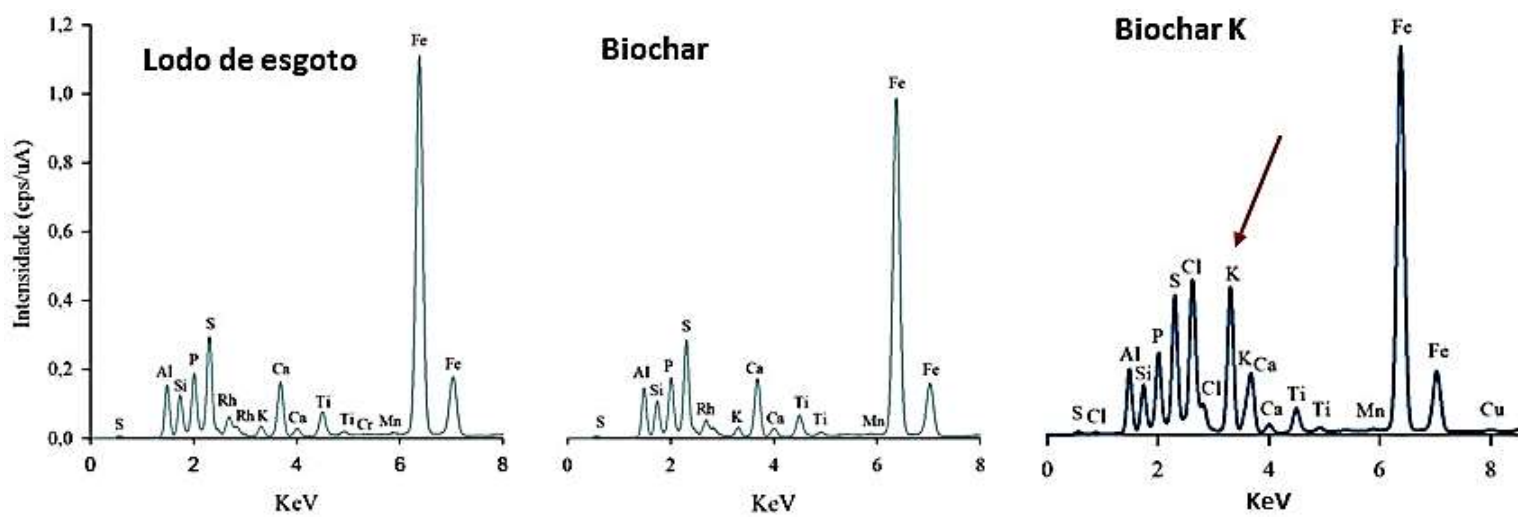


Figura 2



Figura 3



Figura 4

RESUMO**COMPOSIÇÃO GRANULADA ORGANOMINERAL DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO ENRIQUECIDO COM POTÁSSIO E SEU USO COMO FERTILIZANTE**

A presente invenção refere-se a um fertilizante organomineral, denominado Biochar-K, que é obtido pela granulação do biochar de lodo de esgoto junto com o cloreto de potássio. Tal fertilizante apresenta sinergismo entre seus componentes e características físico-químicas que promovem a liberação do potássio de forma sincronizada e menos sujeita a perdas por lixiviação. Ademais, no Biochar-K todos os nutrientes estão distribuídos de forma homogênea em todos os grânulos, permitindo uma adubação eficiente e uniforme. Além disso, a presente tecnologia apresenta boas características nutricionais, contendo concentração de potássio 52,2 vezes maior do que a concentração presente no biochar de lodo de esgoto comum.