



Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal

Fernanda Leite Cunha^{1*}, Erick Martins Nieri¹, Juscelina Arcanjo dos Santos¹, Rodolfo Soares de Almeida¹, Lucas Amaral de Melo¹, Nelson Venturin¹

¹Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Avenida Doutor Sylvio Menicucci, 1001 - Aqueanta Sol, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil

*Autor correspondente:

fernandaleitecunha@gmail.com

Termos para indexação:

Liberação controlada
Nutrição vegetal
Adubação

Index terms:

Controlled release
Plant nutrition
Fertilizing

Histórico do artigo:

Recebido em 11/11/2019
Aprovado em 18/08/2021
Publicado em 22/12/2021

Resumo - Os adubos de liberação lenta (ALL) encontram-se em desenvolvimento mundial, e são caracterizados como adubos inteligentes, com alto grau de tecnologia e capazes de liberar os nutrientes para a planta por longo período. Dessa forma, ele reduz a perda de adubo por lixiviação e volatilização, aumentando a eficiência de absorção pela planta. O seu uso na agricultura tem demonstrado ganhos satisfatórios em produtividade, com possibilidade de contenção de gastos com insumos e mão de obra. Devido às vantagens de sua utilização, esta revisão visa esclarecer a classificação destes fertilizantes e conhecer a dinâmica do seu uso no setor florestal. O uso dos ALL já é consolidado no setor florestal, na fase de produção de mudas, possibilitando maior crescimento das plantas em viveiro. O uso dos ALL em plantios florestais ainda é incipiente, devido à carência de estudos para seu uso com espécies florestais. Entretanto, já se encontra na literatura alguns estudos com resultados preliminares, com aumento do crescimento inicial e economia de insumos. Dessa forma, acreditamos que o uso desta tecnologia de fertilizantes pode gerar melhoria da qualidade das culturas e aumento da produtividade, além da minimização dos impactos ambientais.

Use of slow-release fertilizers in the forest sector

Abstract - Slow-release fertilizers (SRF) are under development worldwide, and are characterized as intelligent fertilizers, with a high degree of technology employed, capable of releasing nutrients over time to the plant. It reduces the loss of fertilizer by leaching and volatilization, increasing the absorption efficiency of the plant. Its use in agriculture has shown satisfactory gains in productivity, with the possibility of containing input and labor costs. Due to the advantages of its use, this review aims to clarify the classification of these fertilizers and to understand the dynamics of their use in the forest sector. The use of SRF for seedling production in the forestry sector is already consolidated, enabling greater growth of plants in nursery. The use of SRF in forest plantations is still incipient, due to the lack and low supply of fertilizers with compatible formulations for forest species. However, there are already some studies in the literature with preliminary results, with an increase in initial growth and economy of inputs. Thus, we believe that the use of this fertilizer technology can lead to improved crop quality and increased productivity, as well as minimizing environmental impacts.



Introdução

O desmatamento nas regiões tropicais tem contribuído substancialmente para o aumento do gás carbônico atmosférico nos últimos anos (Zarin, 2012), aumentando a preocupação acerca do aquecimento global e suas consequências na intensificação das mudanças do clima (Bonan 2008; Feng et al., 2013, Griscom et al., 2017). A mitigação climática baseada em florestas surgiu como um componente chave do recente Acordo Climático de Paris (Grassi et al., 2017), no qual os países presentes se comprometeram em recuperar 82% da área florestal localizada em regiões tropicais (Chazdon et al., 2017; Holl, 2017). No contexto das mudanças do clima, a preservação dos ecossistemas naturais é crucial, de forma a reduzir as emissões globais de gases do efeito estufa (Zarin, 2012).

O uso de fertilizantes na agricultura apresenta um papel fundamental neste cenário das mudanças do clima, por possibilitarem maior produtividade por área e, conseqüentemente, redução da supressão de áreas com florestas nativas. Assim, pode-se estabelecer a manutenção das florestas nativas do mundo, as quais são importantes fontes de armazenamento de carbono (Vitousek et al., 2009; Macedo et al., 2012).

A intensificação sustentável da produtividade agrícola em terras aráveis preservou em todo o mundo cerca de 1 bilhão de ha entre 1961 e 2005, sendo que mais área pode ser preservada com a implementação das melhores práticas de gerenciamento e tecnificação no uso de fertilizantes (Burney et al., 2010).

Uma das tecnologias em desenvolvimento mundial são os adubos de liberação lenta (ALL), os quais apresentam a característica de serem adubos inteligentes e contemplam os principais desafios da indústria de fertilizantes (Naz & Sulaiman, 2016).

Segundo Yamamoto et al. (2016) e Trenkel (2010), esses adubos liberam os nutrientes por um período mais longo. A utilização deste fertilizante promove benefícios, como a redução de gastos com mão de obra, perda de nutrientes por lixiviação e nitrogênio por volatilização da amônia, redução de danos às sementes ou às plântulas pela salinidade do meio de cultivo, além de manter um sincronismo de liberação dos nutrientes com as necessidades de crescimento e desenvolvimento das plantas (Guo et al., 2016).

Além disso, o aumento da eficiência de absorção dos nutrientes com a utilização destes adubos favorece

o aumento do crescimento das espécies de interesse em detrimento das plantas invasoras, característica essencial, do ponto de vista silvicultural, para reduzir as necessidades de capina e acelerar o fechamento de copa (Yamamoto et al., 2016).

O uso de ALL em culturas agrícolas tem demonstrado aumento de produtividade e redução das doses de adubação, aumentando o lucro líquido (Zheng et al., 2016). Resultados positivos com a aplicação de ALL também foram relatados para espécies florestais. Conforme Silva et al. (2015), a aplicação de ALL em plantios de híbridos de eucalipto promoveu a redução da necessidade de adubações de cobertura. Este benefício possibilitou a redução dos custos de manutenção, os quais são concentrados nos primeiros anos do plantio (Brancalion et al., 2017).

Perante as vantagens de utilização dos adubos de liberação lenta, diversos estudos têm sido realizados para a obtenção e aprimoramento de novas tecnologias, com a liberação dos nutrientes de forma mais eficiente e com o objetivo de obter formulações que atendam à demanda nutricional de diferentes culturas (Chawakitchareon et al., 2016; Chen et al., 2018).

Até então, o crescimento de estudos e do uso mundial desta tecnologia se deu, principalmente, em culturas agrícolas (Fu et al., 2018). Para o setor florestal, encontram-se no mercado formulações de adubos de liberação lenta, compatíveis com a produção de mudas e plantios florestais, como o N-P-K, (06-30-10), (11-22-11) e (10-15-20), os quais são encapsulados com enxofre elementar e revestidos por polímeros orgânicos não hidrossolúveis (Silva et al., 2015; Cunha, 2020).

No entanto, o uso dos adubos de liberação lenta para as espécies florestais ainda é incipiente, devido à escassez de informações sobre a qualidade e manejo adequados a serem utilizados desta nova fonte de adubo (Silva et al., 2015).

O presente trabalho se caracteriza como uma revisão de literatura, visando apresentar e discutir o que há de mais atual em termos de conhecimento científico relacionado ao tema de adubos de liberação lenta (ALL). Foram considerados manuscritos de relevante impacto científico, localizados em bases indexadoras, como *Google Scholar*, *Scopus*, *Capes* e *Isi Web of Knowledge*. Também foram consultados informativos da Associação Internacional de Fertilizantes e notas técnicas de empresas de fertilizantes, que complementam com informações específicas sobre formulações e formas de uso.

Adubos de liberação lenta ou controlada

Os adubos de liberação lenta ou controlada são considerados tecnologia promissora, ocupando o mercado mundial com uma taxa de crescimento de 6,5%, entre 2014 e 2019 (Fu et al., 2018). De acordo com o Strategic Report (2017), essa tecnologia já vem sendo utilizada em todo o mundo.

Na Europa, o Comitê Europeu de Normalização (CEN) classificou as características sob as quais um produto pode ser categorizado como fertilizante de liberação lenta a 25 °C, sendo elas: (i) não mais do que 15% de liberação em 24 h; (ii) liberação não superior a 75% em 28 dias; e (iii) pelo menos 75% de liberação dentro do período prescrito pelo fabricante (Trenkel, 2010).

O papel deste fertilizante é liberar nutrientes para o solo por um período de tempo maior que o fertilizante tradicional, de modo que a disponibilidade de nutrientes para absorção pelas plantas seja substancialmente prolongada (Yamamoto et al., 2016). De acordo com Trenkel (2010), são diversos mecanismos que controlam a liberação dos nutrientes para o ambiente, os quais serão elucidados a seguir.

Os ALL podem ser classificados em três tipos: físico, químico ou composto (Fu et al., 2018). Os físicos podem ser classificados como aqueles que usam matriz ou revestimento. Os fertilizantes revestidos possuem uma ou mais camadas de material inerte na superfície das partículas de fertilizante, formando um filme compacto de baixa permeabilidade (Trenkel, 2010). As diferentes propriedades da estrutura da membrana atingem diferentes efeitos de liberação lenta (Guelfi, 2017). Os nutrientes do adubo são liberados pela dissolução ou degradação de seus próprios materiais.

Dentre os fertilizantes físicos, os matriciais são considerados uma nova fonte de obtenção e de baixo custo para produção de ALL, consistindo, principalmente, de ureia ou fertilizante formulado baseado em matrizes de diversos materiais, como bentonite e polímeros orgânicos (Trinchera et al., 2010; Ni et al., 2013; Fu et al., 2018).

Os ALL classificados como do tipo químico apresentam como característica a liberação dos nutrientes por ações químicas, inibindo a dissolução de fertilizantes ou a transformação de nutrientes (Fu et al., 2018). Segundo os mesmos autores, esta classificação pode ser dividida em duas categorias: 1) fertilizantes quimicamente ligados, em que a combinação de seus componentes é

dada por ligação covalente ou iônica. Estes produzem compostos levemente solúveis ou insolúveis em água; 2) fertilizantes quimicamente inibidos, que liberam o nutriente por adição de inibidores. O efeito desse tipo de ALL é superior ao do tipo físico, mas o custo de produção é relativamente alto (Wang et al., 2012).

Os ALL do tipo composto são preparados por uma combinação abrangente de métodos físicos ou químicos, ou a mistura dos dois. Segundo Gabrielson et al. (2017), a combinação entre os métodos químicos e físicos pode melhorar significativamente o controle da liberação dos nutrientes no tempo, principalmente para aqueles com fonte de nitrogênio, em que há alta perda do nutriente no ambiente. Estudos desta composição também foram explorados por Frame et al. (2012) e Li et al. (2011).

Dentre os três tipos de ALL, os adubos do tipo físico abrangem cerca de 95% dos ALL, além de serem considerados como o método mais adequado para o fornecimento consistente de nitrogênio às plantas e para a redução dos efeitos de perda e contaminação ambiental (Naz & Sulaiman, 2016). Adicionalmente, o custo de produção destes tipos de adubos é inferior aos demais (Fu et al., 2018).

Adubo de liberação lenta do tipo físico revestido

Os adubos de liberação lenta que possuem revestimento apresentam padrão e taxa de liberação dos nutrientes conhecidos e podem ser controlados em seu processo de fabricação. Estes são influenciados pela qualidade e espessura do revestimento, temperatura, umidade do solo e pela quantidade de chuvas e ou irrigações que ocorrem no local de aplicação (Shaviv, 2003 ; Guelfi, 2017)

Segundo Trenkel (2010), os revestimentos que podem ser utilizados para os fertilizantes de liberação lenta, podem ser compostos por polímeros inorgânicos, os quais podem ser derivados de enxofre elementar, bentonita e gesso. Enquanto os polímeros orgânicos podem ser polímeros sintéticos, como o poliuretano, polietileno e resina alquídica, ou polímeros naturais, como amido, quitosana e celulose. Além disso, estudos mostram que materiais, como biocarvão, resina e polifenol, carvão oxidado, ácidos umicos e micronutrientes (boro e cobre), estão sendo utilizados (Guimarães, 2011; Paiva et al., 2012; Mumtaz et al., 2019; Shi et al., 2020), dentre outros aditivos.

O enxofre, a cera e os polímeros são tipos de revestimentos dos grânulos de fertilizantes (Ribeiro, 2015). As ceras se configuram em um bom material

a ser utilizado, por proporcionarem maior aderência e qualidade em vedação, reduzindo a solubilidade do fertilizante em água (Lawrencia et al., 2021). Para isso, segundo Landels (1994), a cera deve ser fundida e posteriormente arrefecida abaixo do seu ponto de fusão. A fonte mais utilizada é a parafina, derivada de petróleo ou de minerais sintéticos.

Os fertilizantes encapsulados por polímeros apresentam vantagens em detrimentos dos demais, por serem independentes das características do ambiente que serão inseridos, sendo influenciados apenas pela temperatura, umidade e material do revestimento (Trenkel, 2010). Apesar de serem avançados tecnicamente, e apresentarem qualidade no retardamento da liberação dos nutrientes, Lawrencia et al. (2021) relatam que os ALL, em sua maioria, são revestidos por polímeros feitos principalmente de resina termoplástica, que não se degradam facilmente no solo e podem se acumular com o tempo.

Em geral, a disponibilização dos nutrientes segue em três fases, por um modelo sigmoidal, ocorrendo liberação lenta em um primeiro momento, seguido por uma fase de liberação mais rápida e posteriormente com liberação total dos nutrientes (Shaviv et al., 2003; Ifan et al., 2017). Esse padrão, aumenta o sincronismo entre a demanda da planta e a disponibilidade dos nutrientes no ambiente, de modo a aumentar a eficiência de recuperação dos nutrientes advindos do fertilizante (Trenkel, 2010; Raymond et al., 2016b).

Na primeira etapa do processo, a liberação lenta dos nutrientes é dada pela absorção de umidade pelo grânulo, principalmente em forma de vapor, que é condensado no núcleo do grânulo, dissolvendo uma pequena porção dos nutrientes (Shaviv et al., 2003). A força motriz para este processo é o vapor gradiente de pressão, por meio do revestimento. O volume para o vapor condensado é limitado aos vazios dentro do núcleo sólido e aqueles entre o núcleo e o revestimento, induzindo um acúmulo de pressão interna. Ainda nesta fase, pode ocorrer o mecanismo de falha, em que a pressão interna pode exceder a resistência da membrana. Nessa situação, o revestimento é rompido, liberando todo o nutriente de uma só vez. O mecanismo de falha está associado à fragilidade de revestimentos não elásticos (Shaviv, 2000).

O retardamento da liberação dos nutrientes dos ALL, pode estar relacionado à necessidade de preenchimento do espaço poroso dos grânulos por água (Du et al.,

2006). Em seguida, sem que a membrana se rompa, inicia-se a etapa dois, de liberação contínua dos nutrientes para o meio, que é impulsionada por um potencial de concentração gerado ou pelo fluxo de massa por um gradiente de pressão, denominado de mecanismo de difusão (Shaviv et al., 2003). Segundo Mariano et al. (2011), a liberação dos nutrientes nessa etapa é dependente da solubilidade, difusividade e permeabilidade dos nutrientes que compõe o revestimento do fertilizante, em conjunto, com as características do meio, temperatura e umidade.

A terceira etapa é conhecida pela queda de liberação dos nutrientes, devido à baixa concentração da solução interna provocada pelos contínuos fluxos concomitantes de liberação de nutrientes e fluxo de água no grânulo. Essa etapa termina com o esgotamento dos nutrientes contidos no adubo (Shaviv et al., 2003).

Segundo Vipiana (2014), para uma correta utilização dos ALL, é necessário conhecer as exigências nutricionais da cultura de interesse e as condições ambientais do local para sua implantação, de forma que não ocorra incompatibilidade entre o tempo de liberação de nutrientes pelos fertilizantes e a demanda nutricional da planta, visando evitar perdas de crescimento e mortalidade de mudas. Os autores destacam que a grande vantagem dos fertilizantes revestidos, além da liberação gradual dos nutrientes, é que eles conferem melhores características físicas aos grânulos, o que segundo Salman (1989), melhora as condições de armazenagem, com menores perdas de fertilizantes, e aplicação do adubo em campo no solo.

No mercado, encontram-se algumas fontes de ureia revestida e formulações de adubos de liberação lenta. No entanto, estas formulações são destinadas apenas para culturas agrícolas, como o café, soja e milho, que são culturas tradicionais no agronegócio com histórico de estudo e investimento maior que as demais. Recentemente, uma nova tecnologia de adubos de liberação lenta, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, se encontra no mercado com formulações compatíveis aos plantios florestais, destinado à adubação de base e para a adubação de cobertura (Tabela 1).

Apesar das formulações de adubos de liberação lenta serem compatíveis com a demanda para plantios florestais, as informações sobre a qualidade, manejo adequado nos plantios e o seu efeito no crescimento das plantas ainda são desconhecidos (Silva et al., 2015).

No entanto, alguns estudos têm sido desenvolvidos em plantios florestais e no setor agrônomico, como forma de otimizar a produção das espécies de interesse, como serão descritos nos tópicos a seguir.

Aplicabilidade dos adubos de liberação lenta

Os adubos de liberação lenta são consumidos em atividades de paisagismo, adubação de gramados e campos de golfe, sendo estas atividades mais voltadas para o setor urbano e pouco para o setor agrícola (Strategic Report, 2017). A utilização de ALL em telhados verdes, jardins públicos e particulares proporciona a melhora na qualidade da água escoada pelo sistema, uma vez que a lixiviação de nutrientes é reduzida (Clark & Zheng, 2014; Warner et al., 2018).

A viabilidade da utilização dos ALL foi verificada na China por Zheng et al. (2016), que constataram aumento de produtividade do milho quando utilizaram menores doses de fertilizante, o que consequentemente aumentou o lucro líquido da fazenda. Adicionalmente, Pereira et al. (2017) demonstraram que o uso de ALL, é uma alternativa prática para aumentar a eficiência da ureia-N, reduzir os impactos ambientais causados pela perda de NH_3 e melhorar a qualidade da forragem cultivada em solos de baixa fertilidade.

Na última década, esta tecnologia apresentou crescimento para a incorporação da produção de cereais e grãos, nos Estados Unidos, e de frutas e legumes na Europa (Fu et al., 2018). No Brasil, encontram-se estudos para algumas culturas, relacionados à redução da perda dos nutrientes, melhoria da qualidade das culturas e aumento da produtividade, como café

(Marques et al., 2013), milho (Civardi et al., 2011) e arroz (Kiran et al., 2010).

Para o eucalipto, principal espécie florestal plantada no Brasil, os estudos ainda são incipientes, com poucas referências que evidenciam a melhoria da eficiência de aplicação de nitrogênio, via ureia (Faria et al., 2016). Neste contexto, tem-se o estudo de Silva et al. (2015) que utilizaram ALL encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, na formulação (06-30-10) em plantios de híbridos de eucalipto na adubação de base, verificando aumento do crescimento das mudas, redução da necessidade da adubação de cobertura e, consequentemente, redução dos gastos com manutenção do plantio. Resultados similares foram encontrados no trabalho de Cunha (2020), estudando híbridos de eucalipto com o mesmo fertilizante na formulação (11-22-11). Ibrahim et al. (2019) ressalta em seu trabalho que o uso de adubos de liberação lenta é muito vantajoso em plantios de ciclo longo como as florestas plantadas, por proporcionar melhores condições de absorção dos nutrientes pelas plantas, criando uma vantagem competitiva para seu crescimento.

Benefícios em crescimento podem ser obtidos com a utilização desse adubo, assim como verificado por Lang et al. (2010). Esses autores aplicaram ALL revestido por polímero elástico Poligen, em detrimento da formulação N:P:K (16:8:12), no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar, e observaram que os ALL proporcionaram maiores incrementos em altura, diâmetro do coleto e número de folhas, durante os primeiros doze meses.

Tabela 1. Diferentes formulações de adubos de liberação lenta destinada a adubação de plantio e de cobertura em povoamentos florestais.

Table 1. Different formulations of slow-release fertilizers for planting and top dressing in forest stands.

Composição	Adubação de base				Adubação de cobertura	
	07:26:14* (%)	09:30:10 (%)	09:36:07 (%)	11:22:11 (%)	20:00:20 (%)	15:00:30 (%)
Nitrogênio (N)	7	9	9	11	20	15
Fósforo (P_2O_5)	26	30	36	22	5	-
Potássio (K_2O)	14	10	7	11	20	30
Enxofre (S)	8,58	7,34	1,69	13,61	12,29	4,38
Boro (B)	0,56	0,51	0,44	0,3	0,35	1,06
Cobre (Cu)	0,48	0,44	0,44	0,3	0,3	-
Zinco (Zn)	0,48	0,44	0,44	0,3	0,3	-

Formulações comerciais NPK.

Em trabalhos realizados no sudeste dos Estados Unidos para a recuperação a recuperação de nitrogênio por ureia convencional e revestida por polímeros, fosfato monoamônico e N- (n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), em plantios de meia idade de *Pinus taeda*, foi observado que a recuperação de fertilizante nitrogenado foi cerca de 20% maior no fertilizante de liberação lenta, o que pode promover maior produtividade dos plantios (Raymond et al., 2016b). No entanto, no trabalho de Sloan et al. (2021) os autores não observaram diferenças significativas na recuperação de nitrogênio em ureias revestidas por N- (n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), polímero e por boro e fosfato solúvel em água, em relação a ureia convencional, em plantios de meia rotação de *Juglans nigra*. Esse resultado, provavelmente, teve a influência do baixo comportamento de liberação lenta dos fertilizantes estudados e da competição promovida pela presença de subboscue. No entanto, Jacobs et al. (2005) descrevem que o uso de ALL em plantios de *J. nigra*, *Liriodendron tulipifera* e *Fraxinus americana* é eficiente para acelerar o crescimento das mudas em campo.

Uma das razões para o aumento da recuperação do nitrogênio e do crescimento em plantios florestais é a menor volatilização da amônia para a atmosfera, como demonstrado por Raymond et al. (2016a), em florestas de *P. taeda*, no sudeste dos Estados Unidos. Os autores encontraram que para os adubos revestidos, a volatilização foi menor com taxas variáveis de 8 a 23%, enquanto que a ureia convencional apresentou aproximadamente o dobro, com taxas variáveis de 29 a 49%.

Apesar dos estudos ainda serem iniciais em plantios florestais, o uso dos ALL já é consolidado na fase de produção de mudas, onde foram avaliadas a qualidade das mudas e as doses adequadas (Brachtvogel; Malavasi, 2010; Rossa et al., 2011, 2013a, 2013b, 2015; Pias et al., 2015).

Adubos de liberação lenta ou controlada na produção de mudas

A prática de adubação, na fase de produção de mudas, é fundamental para formação de mudas com qualidade e com crescimento acelerado, ao passo que a eficiência das adubações depende das doses e das fontes do adubo, além das características físicas, químicas e biológicas dos substratos (Mendonça et al., 2008)

A adubação de cobertura se caracteriza como complemento da fertilização de base dos substratos

para a promoção de maior crescimento das mudas. Esta adubação deve ocorrer de forma parcelada, para proporcionar a formação de mudas com qualidade, principalmente, em relação à aplicação do nitrogênio, que quando aplicado em doses elevadas, é perdido por volatilização da amônia (Mendonça et al., 2008). Além disso, esta prática apresenta aumento significativo no custo operacional (Serrano et al., 2006).

Os adubos de liberação lenta ou controlada possuem uma eficiência superior aos convencionais, devido à sua característica de retardar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, o que reduz suas perdas para o ambiente e aumenta o sincronismo com a sua demanda pela planta (Serrano et al. 2004). Devido a essas características, esses adubos podem proporcionar maior produtividade em campo e menor necessidade de manejo do plantio, o que reduz a demanda por mão de obra (Cunha, 2020).

Conforme Davide et al. (2015), dois fabricantes dominam o mercado de ALL para produção de mudas de espécies florestais no Brasil, com produtos de liberação em três, seis, nove e 12 meses. Além desses, é possível encontrar no mercado uma nova fonte de ALL para produção de mudas, disponibilizada por um novo fabricante. As principais formulações desses três fabricantes estão apresentadas na Tabela 2.

De acordo com Brodani et al. (2008), o fabricante A disponibiliza adubo constituído por grânulos que contêm uma combinação homogênea dos nutrientes. Os adubos são revestidos por polímeros orgânicos, compostos por uma resina alquílica em que a água entra pelo poro ampliado e os nutrientes são liberados através dos microporos (Machado, 2012). A distribuição dos nutrientes do adubo produzido pelo fabricante B se dá de forma homogênea nos grânulos e os micronutrientes são quelatizados no adubo. Os grânulos são completamente recobertos pelo polímero elástico Poligen (Simão, 2017). O All do fabricante C consiste de adubo encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis (Cunha, 2020).

Em experimento realizado com ALL em comparação com adubos solúveis em cultivo de *Tagetes erecta*, Cole & Dole (1997) constataram que os primeiros resultaram em maior crescimento e em menor taxa de lixiviação de nutrientes. Apesar de serem mais efetivos, eles possuem custos mais elevados que os adubos de disponibilização imediata (Rossa et al., 2011). Neste contexto, salienta-se que alguns estudos são desenvolvidos a fim de delimitar as doses adequadas dos adubos de liberação lenta ou

controlada, buscando a formação de mudas com maiores índices de crescimento e qualidade e com melhor custo

benefício (Brodani et al. 2008; Jose et al., 2009; Rossa et al., 2013a, 2013b, 2015).

Tabela 2. Diferentes formulações de adubos de liberação lenta destinada à produção de mudas florestais.

Table 2. Different formulations of slow-release fertilizers for forest seedling production.

Composição	Fabricante A			Fabricante B			Fabricante C	
	15:09:12* (%)	19:06:10 (%)	14:14:14 (%)	15:01:10 (%)	15:08:12 (%)	13:06:16 (%)	10:15:20 (%)	11:11:21 (%)
Nitrogênio (N)	15,00	19,00	14,00	15,00	15,00	13,00	10,00	11,00
Fósforo (P ₂ O ₅)	9,00	6,00	14,00	10,00	8,00	6,00	15,00	11,00
Potássio (K ₂ O)	12,00	10,00	14,00	10,00	12,00	16,00	20,00	21,00
Cálcio (Ca)	3,50	-	-	3,80	-	-	-	-
Magnésio (Mg)	1,50	-	-	1,50	1,20	-	-	-
Enxofre (S)	3,00	3,5	-	3,00	5,00	10,00	10,00	12,96
Ferro (Fe)	1,00	-	-	0,50	0,40	0,26	-	-
Boro (B)	0,02	-	-	0,02	0,02	0,02	0,35	0,38
Cobre (Cu)	0,05	-	-	0,05	0,05	0,05	0,30	0,30
Zinco (Zn)	0,05	-	-	0,05	-	-	0,30	0,30
Manganês (Mg)	0,06	-	-	0,10	0,06	0,06	-	-
Molibidênio (Mo)	0,02	-	-	0,004	0,015	0,02	-	-

*Formulações comerciais NPK. Adaptado de Davide et al. (2015).

Conforme Rossa et al. (2011) e Serrano et al. (2010), há efeito significativo na utilização de doses crescentes de ALL, revestido por polímero Poligen (formulação N:P:K, 13:06:16), para produção de mudas de espécies florestais (*Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*) e agrônômicas (*Carica papaya*, mamão). Brachtvogel & Malavasi (2010) e Moraes Neto (2003a) também observaram que a aplicação de ALL proporciona produção de mudas florestais de maior qualidade, quando compararam o efeito de diferentes doses de ALL, revestido por resina alquídica (N-P-K, 14-14-14), com aplicação de adubação de cobertura a cada 15 dias com adubos de disponibilidade imediata.

Em estudo realizado com diferentes volumes de tubetes (50 e 150 cm³) e doses crescentes do ALL revestido por resina alquídica (N:P:K, 14:14:14), no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*, José et al. (2009) observaram que a altura das plantas aumentou à medida que se elevaram as doses do fertilizante (nitrogênio), resultando em alturas de aproximadamente 60 cm com aplicação de 21 g L⁻¹ do ALL no tubete de 150 cm³ e de 30 cm em tubete de 50 cm³. Estes resultados corroboram com o estudo de Rossa et al. (2013b), que encontraram para *S. terebinthifolius* aumento crescente

da altura à medida que se aumentou a dose de ALL, revestido de polímero Poligen (N-P-K, 13-06-16), sendo o crescimento máximo atingido com a aplicação de 10,88 kg m⁻³ em tubetes de 180 cm³.

Serrano et al. (2006), ao José et al. (2009) diferentes doses de ALL revestido por resina alquídica (N-P-K, 14-14-14), cultivados em tubetes, observaram resposta linear crescente para as características da altura, área foliar, diâmetro e número de folhas, na produção de porta-enxerto cítrico limoeiro cravo (*Citrus limonia*). Conforme Brondani et al. (2008), o crescimento de *Anadenanthera colubrina* em tubetes de 110 cm³ apresentou melhores resultados, avaliado pelas características morfológicas, com a dose de 2 kg m⁻³.

Para produção de mudas de *P. taeda*, observou-se que a utilização de ALL influenciou positivamente o crescimento inicial, exceto da variável massa seca das raízes, sendo recomendada a utilização de 2,93 kg m⁻³ de ALL, revestido por resina alquídica (N-P-K, 19-06-10), por proporcionar mudas com melhor padrão de qualidade (Wilsen Neto & Botrel, 2009).

Moraes Neto et al. (2003a), comparando a utilização de ALL revestido por resina alquídica (N-P-K, 14-14-14) e a adubação convencional de liberação imediata,

encontraram respostas positivas em crescimento, em casa de vegetação aos 125 dias, para o aumento das doses de ALL (2,14 para 6,42 kg m⁻³) no substrato para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Peltophorum dubium*, em tubetes de 50 cm³. Scivittaro et al. (2004), em estudo semelhante, observaram que a elevação na dose de ALL promoveu aumento no diâmetro do caule, na produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de N, P, K, Mg e B nas plantas de *Poncirus trifoliata*, sendo a melhor resposta obtida com a dose de 6 kg m⁻³. Adicionalmente, Moraes Neto et al. (2003b), ao estudarem espécies florestais nativas, concluíram que doses entre 3,2 kg m⁻³ e 4,8 kg m⁻³ resultaram em mudas de superior qualidade para todas as espécies estudadas.

Em estudo onde foi comparado o uso de doses crescentes de dois ALL, revestido com resina alquídica (N-P:K, 15-09-12), com liberação dos nutrientes de cinco a seis meses, e revestido por polímero Poligen (13-06-16), com liberação dos nutrientes em três meses, para produção de mudas de *Eucalyptus guineenses*, Teixeira et al. (2009) observaram que o formulado (15-09-12) proporcionou crescimento superior para a altura das plantas. No entanto, Dinalli et al. (2012), ao compararem a utilização dos mesmos ALL, nas formulações 19-06-10 para o adubo revestido em polímero Poligen, e 16-8-12 para o revestido com resina alquídica, nas doses de 0 e 3 kg m⁻³, não observaram diferenças significativas no crescimento das mudas de *Vigna radiata*.

Rossa (2015), estudando diferentes doses de ALL e de adubo de liberação imediata para produção de mudas de *E. grandis* em tubete de 53 cm³, observaram que a utilização de ALL proporcionou maior crescimento em altura em todos os tratamentos, o que aponta para a importância de uma contínua disponibilização dos nutrientes durante o período de desenvolvimento das mudas.

Segundo Rossa et al. (2013a), os custos de manutenção das mudas em viveiros com a utilização de ALL podem ser menores, quando comparado ao uso de fertilizantes convencionais. Segundo os autores, a quantidade de adubos convencionais seria 7,6 vezes maior que o LL, o que acarretaria mais gastos em transporte e armazenamento. Além disso, a utilização de fertilizantes comerciais exige atividades adicionais de adubação de cobertura em viveiro e campo. Essas atividades geram despesas pelo uso da mão de obra, incluindo salário e encargos sociais, e de equipamentos, composto

pelos custos de aquisição, depreciação, manutenção entre outros.

Dessa forma, a utilização de ALL na produção de mudas tem propiciado melhorias no desenvolvimento em viveiro, propiciando melhor qualidade, como exigido para o plantio de mudas em campo, o que pode garantir menor índice de mortalidade, menores custos de replantio e maior produtividade em plantios florestais.

Além do uso consolidado em culturas agrícolas e em viveiro florestal, nos últimos anos observam-se esforços para introduzir o seu uso nas culturais florestais. As vantagens de utilização dos adubos em plantios florestais podem variar de acordo com as fontes utilizadas, no entanto, é possível perceber um aumento do crescimento inicial das árvores (Silva et al., 2015), o que garante uma vantagem competitiva em relação às plantas daninhas, reduzindo os custos com a manutenção do controle das mesmas em campo.

O uso dos ALL também pode eliminar ou reduzir o número de parcelas da fertilização de cobertura, o que acarreta menores gastos com emprego da mão-de-obra, que é cada vez mais escassa e onerosa para implantação e manutenção florestal, podendo aumentar a receita líquida dos plantios e reduzir os impactos ambientais pela lixiviação de nutrientes.

Considerações finais

Os ALL podem ser utilizados para diversas culturas agrícolas, no cultivo de jardins, plantios florestais e na produção de mudas. O interesse por esta fonte de fertilizantes está ligado às vantagens que ele proporciona, como redução da volatilização da amônia e perda de nutrientes por lixiviação. Dessa forma, a recuperação dos nutrientes dos fertilizantes pela planta é maior, proporcionando aumento do crescimento e qualidade para as plantas, tanto na fase de produção de mudas quanto em plantios em campo. Além dos ganhos produtivos há o ganho ambiental, com o maior aproveitamento dos nutrientes aplicados, o que reduz a demanda de aplicação de altas doses de fertilizantes. Além disso, há menor acúmulo de nutrientes nos ecossistemas, proporcionados pela lixiviação.

Apesar de seus benefícios, os adubos de liberação lenta têm um maior custo de aquisição, do que os adubos prontamente solúveis. Quando utilizadas fontes de qualidade e formulações adequadas é possível reduzir

os custos de manutenção das florestas, por promover mudanças no manejo de adubação das plantas. Dessa forma, o uso de ALL pode se tornar economicamente viável e ambientalmente favorável. Mas para que essa afirmação se mantenha verdadeira é necessário grande investimento em pesquisas envolvendo o uso desses fertilizantes em florestas plantadas, de forma a determinar as melhores práticas silviculturais, com diferentes formulações de ALL e o desenvolvimento de melhores tecnologias de revestimento do fertilizante, com diferentes tempos de disponibilização do nutriente em campo, para que melhor atendam à demanda nutricional das plantas.

Referências

- Bonan, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, p. 1444-1449, 2008. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- Brachtvogel, E. L. & Malavasi, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert em viveiro. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2 p. 223-232, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000200004>.
- Brancalion, P. H. S. et al. Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. **Forest Policy and Economics**, v. 85, p. 103–113, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.009>.
- Brondani, G. E. et al. Fertilização de liberação controlada no crescimento inicial de angico-branco. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 167-176, 2008. <https://doi.org/10.5380/rsa.v9i2.10965>.
- Burney, J. A. et al. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **National Academy of Sciences**, v. 107, n. 26, p. 12052-12057, 2010. <https://doi.org/10.1073/pnas.0914216107>.
- Chawakitchareon, P. R. et al. Production of slow release fertilizer from waste materials. **Advanced Materials Springer International Publishing**, v. 83, n. 4, p. 534–540, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26324-3_10.
- Chazdon, R. L. et al. A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. **Conservation Letters**, v. 10, p. 125–132, 2017. <https://doi.org/10.1111/conl.12220>.
- Chen, S. L. et al. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 431- 437, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.209>.
- Civardi, E. A. et al. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8146>.
- Clark, M. J. C. & Zheng, Y. Effect of fertilizer rate on plant growth and nutrient content of leachate during production of green roof modules with sedum vegetation. **Hort Science**, v. 49, p. 819-826, 2014. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.819>.
- Cole, J. C. & Dole, J. M. Temperature and phosphorus source affect phosphorus retention by a pine bark-based container medium. **Hort Science**, v. 32, n. 2, p. 236-240, 1997. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.2.236>.
- Cunha, F. L. **Uso de adubos de liberação lenta na produção de mudas e plantio de eucalipto**. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) UFLA, Lavras, Minas Gerais.
- Davide, A. C. et al. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. In: Davide, A. C. & Botelho, S. A. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**. Lavras: Ed UFLA, 2015.
- Dinalli, R. P. et al. Utilização de adubos de liberação lenta na produção de mudas de *Vigna radiata* L. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 21, p. 10-15, 2012.
- Du, C. et al. A. Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 14, p. 223-230, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0025-4>.
- Faria, L. A. et al. NH₃ Volatilization from Urea-NBPT in *Eucalyptus*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 6, p. 769-774, 2016. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146892>.
- Feng, X. M. et al. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. **Scientific Reports**, v. 3, p. 2846, 2013. <https://doi.org/10.1038/srep02846>.
- Frame, W. H. et al. In vitro evaluation of coatings to control ammonia volatilization from surface-applied urea. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 5, p. 1201–1207, 2012. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0009>.
- Fu, J. et al. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 17, p. 219-2230, 2018. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1499757>.
- Gabrielson, K. D et al. **Compositions of urea formaldehyde particles and methods of making thereof**. US009682894B2, 20 Jun. 2017.
- Grassi, G. et al. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 220, 2017. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>.
- Griscom, B. W. et al. Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 114, p. 11645–11650, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep02846>.
- Guelfi, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada. **International Plant Nutrition Institute**, n. 151, p. 1- 14, 2017.
- Guimarães, G. G. F. **Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da uréia**. 2011. 26 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

- Guo, C. et al. Application of controlled-release urea in rice: Reducing environmental risk while increasing grain yield and improving nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1176–1183, 2017. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60030-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60030-3).
- Ibrahim, J. F. de O. N. et al. Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas e no cultivo do eucalipto (*Eucalyptus* spp). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, p. 564–579, 2019.
- Ifan, S. A. et al. A review of mathematical modeling and simulation of controlled-Release fertilizers. **Journal Control Realise**, v. 271, p. 45–54, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.12.017>.
- Jacobs, D. F.; Salifu, F. Seifert, J. R. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting. **Forest Ecology and Management**, v. 214, p. 28–39, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.053>.
- José, A. C. et al. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, p. 73–86, 2009. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v2i3.420>.
- Kiran, J. K. et al. Efeitos da uréia de liberação controlada no rendimento e nutrição de nitrogênio do arroz inundado. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**, v. 41, n. 7, p. 811–819, 2010.
- Landels, S. **Controlled release fertilizers: supply and demand trends in US Nonfarm Markets**. California: SRI International, 1994.
- Lang, A. et al. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 271–276, 2010. <https://doi.org/10.5380/arf.v41i2.21874>.
- Lawrencia, D. et al. Controlled release fertilizers: a review on coating materials and mechanism of release. **Plants**, v. 10, p. 238, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10020238>.
- Li, D. P. et al. Traits of urea nitrogen release from starch acetate coated urea and amended with biological inhibitors in meadow brown soil. **Chinese Journal of Soil Science**, v. 42, p. 1376–81, 2011.
- Macedo, M. N. et al. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, p. 1341–1346, 2012. <https://doi.org/10.1073/pnas.1111374109>.
- Machado, V. J. **Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Mariano, E. et al. **Adubos e adubação: revisão de literatura**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2011.
- Marques, H. M. C. et al. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de co-polímero hidroabsorvente em adubação convencional e de liberação controlada. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2994–3002, 2013.
- Mendonça, V. et al. Diferentes ambientes e osmocote diferentes ambientes na produção de mudas de tamarindeiro (*Tamarindus indica*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 391–397, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000200007>.
- Moraes Neto, S. P. et al. Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 129–137, 2003a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000200002>.
- Moraes Neto, S. P. et al. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 779–789, 2003b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600004>.
- Mumtaz, I. et al. Optimized tuning of rosin adduct with maleic anhydride for smart applications in controlled and targeted delivery of urea for higher plant's uptake and growth efficiency. **Industrial Crops and Products**, v. 133, p. 395–408, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.036>.
- Naz, M. Y. & Sulaiman, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, v. 225, p. 109–120, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>.
- Ni, X. Y. et al. A novel slow-release urea fertiliser: physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. **Biosystems Engineering**, v. 115, p. 274–282, 2013.
- Paiva, D. M. et al. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1221–1229, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400016>.
- Pereira, E. I. et al. Controlled urea release employing nanocomposites increases the efficiency of nitrogen use by forage. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 5, n. 11, p. 9993–10001, 2017. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01919>.
- Pias, O. H. C. et al. Produção de mudas de cedro em função de tipos de recipiente e fontes de fertilizante. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 153–158, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.714>.
- Raymond, J. et al. Ammonia volatilization following nitrogen fertilization with enhanced efficiency fertilizers and urea in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations of the southern United States. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 247–255, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.015>.
- Raymond, J. et al. Differences in the recovery of four different nitrogen containing fertilizers after two application seasons in pine plantations across the southeastern United States. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 161–171, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.044>.
- Ribeiro, V. J. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para planta**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- Rossa, U. B. et al. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 491–500, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/arf.v41i3.24040>.

- Rossa, U. B. et al. Fertilização de liberação lenta no crescimento de mudas de paricá em viveiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 227-234, 2013a. <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.429>.
- Rossa, U. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 45, p. 85, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv45i1.31224>.
- Rossa, U. B. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 93-104, 2013b. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv43i1.25690>.
- Salman, O. Polyethylene-coated urea. 1. Improved storage and handling properties. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 28, p. 630-632, 1989. <https://doi.org/10.1021/ie00089a021>.
- Sloan, J. L. et al. Nitrogen recovery from enhanced efficiency fertilizers and urea in intensively managed Black Walnut (*Juglans nigra*) plantations. **Forests**, v. 12, p. 352, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12030352>.
- Scivittaro, W. B. et al. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta-enxerto 'Trifoliata'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 131-135, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000300035>.
- Serrano, L. A. L. et al. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452010005000084>.
- Serrano, L. A. L. et al. Efeito de sistemas de produção e doses de adubo de liberação lenta no estado nutricional de porta-enxerto cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 524-528, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000300036>.
- Serrano, L. A. L. et al. Sistema de blocos prensados e doses de adubo de liberação lenta na formação de porta enxerto cítrico. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 441-447, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200013>.
- Silva, P. H. M. et al. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, p. 473-481, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521031860>.
- Simão, L. A. **Fertilizantes de liberação controlada no crescimento e desenvolvimento do mamoeiro 'THB'**. 2017. 30 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus.
- Shaviv, A. Advances in controlled release of fertilizers. **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 1-49, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5).
- Shaviv, A. et al. Modeling controlled nutrient release from polymer-coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, 2003. <http://dx.doi.org/10.1021/es011462v>.
- Shi, W. et al. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. **Science of the Total Environment**, v. 701, p. 134424, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134424>.
- Strategic Report. **Controlled release fertilizers market: global market estimation, dynamics, regional share, trends, competitor analysis 2012 to 2016 and forecast 2017 to 2023**. Precision Business Insights, n. 151, 2017. Disponível em: <https://decisionmarketreports.com/market-reports/858975/controlledrelease-fertilizers-market>. Acesso em: 17 set. 2020.
- Teixeira, P. C. et al. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2009. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098407>.
- Trenkel, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.
- Trinchera, A. et al. Organo-mineral fertilisers from glass-matrix and organic biomasses: a new way to release nutrients. A novel approach to fertilisation based on plant demand. **Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 13, p. 2386-2393, 2010. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4472>.
- Vipiana, A. M. **Fertilizantes de liberação lenta e controlada de N como estratégia para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada no híbrido de milho AS1565**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.
- Vitousek, P. M. et al. Agriculture: nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, v. 324, p. 1519-1520, 2009. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1170261>.
- Wang, Y. et al. κ -Carrageenan-Sodium alginate beads and superabsorbent coated nitrogen fertilizer with slow-release, water-retention, and anticompaction properties. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, p. 1413-22, 2012. <https://doi.org/10.1021/ie2020526>.
- Warner, L. A. et al. Florida residents' perceived role in protecting water quantity and quality through landscape practices. **Landscape and Urban Planning**, v. 171, p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.1021/ie2020526>.
- Wilson Neto, A. & Botrel, M. C. G. Doses de fertilizante de liberação lenta na produção mudas de Pinus. **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 65-72, 2009.
- Yamamoto, C. F. et al. Slow release fertilizers based on urea/urea-Formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 390-397, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.023>.
- Zarin, D. J. Carbon from tropical deforestation. **Science**, v. 336, p. 1518-1519, 2012. <https://doi.org/10.1126/science.1223251>.
- Zhang, M. et al. Study and industrialized development of coated controlled release fertilizers. **Journal of Chemical Fertilizer Industry**, v. 32, p. 7-12, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.023>.
- Zheng, W. et al. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**, v. 197, p. 52-62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.004>.