

---

# Bolas de sementes com rejeito da barragem de fundão: uma inovação na restauração florestal das áreas atingidas na região de Mariana, MG

| **Sebastião Venâncio Martins**  
UFV

| **William Victor Lisboa Alves**  
UFV

| **Pedro Manuel Villa**  
UFV

| **Gabriel Correa Kruschewsky**  
FUNDAÇÃO RENOVA

| **Andréia Aparecida Dias**  
FUNDAÇÃO RENOVA

# RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de bolas de sementes como técnica alternativa para a restauração florestal de áreas atingidas pelo rejeito da barragem de Fundão. Para tanto, foram confeccionadas bolas que diferiam de acordo com o substrato – rejeito, composto orgânico, argila e fino de carvão, e também pelo diâmetro utilizado – 3 e 6 cm. Assim, os tratamentos utilizados foram: R3: Rejeito (bola de 3 cm de diâmetro), R6: Rejeito (6 cm), RCO3: Rejeito + Composto Orgânico (3 cm), RCO6: Rejeito + Composto Orgânico (6 cm), RCA3: Rejeito + Argila (3cm), RCA6: Rejeito + Argila (6 cm), RFC3: Rejeito + Fino de Carvão (3 cm) e RFC6: Rejeito + Fino de Carvão (6 cm). Dentro de cada bola foram adicionadas 20 sementes de espécies arbóreas nativas de ocorrência na bacia do rio Doce, sendo 5 de cada uma das quatro espécies utilizadas. As bolas de sementes foram mantidas em estufa no viveiro da Universidade Federal de Viçosa, sendo monitoradas semanalmente quanto a germinação das sementes até 100 dias após a montagem do experimento. Foram contabilizadas um total de 540 sementes germinadas, pertencentes às quatro espécies e aos oito tratamentos. Constatou-se que as bolas de menores diâmetros obtiveram melhores taxas de germinação em comparação aos seus pares de substratos. Além disso, os maiores valores médios de germinação foram alcançados por RFC3. Nesse contexto, a técnica de bolas de sementes se mostrou uma alternativa viável para restauração das áreas atingidas por rejeito.

**Palavras-chave:** Restauração Ecológica, Semeadura Direta, Técnicas Alternativas.

## ■ INTRODUÇÃO

Para reverter os impactos provocados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG, ocorrido em 05 de novembro de 2015, a Fundação Renova e seus parceiros tem realizado um grande investimento tanto em ações diretas de reabilitação e restauração florestal das áreas atingidas e de áreas de compensação em toda a bacia do Rio Doce, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Entre as ações de restauração que estão sendo realizadas, está a restauração de 40 mil ha de áreas de preservação permanente (APP's) e áreas de recarga hídrica degradadas ao longo de toda a bacia do Rio Doce, que é considerada uma importante meta para recuperação desta bacia, que historicamente já sofria com a degradação ambiental muito antes do rompimento da barragem.

Assim, a restauração ao longo das áreas atingidas pelo rejeito depende das características ambientais específicas de cada local e o nível de impacto gerado pela deposição do rejeito, o que também determina a escolha da técnica de restauração a ser utilizada (MARTINS, 2016). Desta forma, o sucesso dos projetos de restauração dessas áreas, deve se dar pela adoção de práticas que visem a recuperação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos, e que estejam alinhados às condições específicas de cada área (MARTINS *et al.*, 2015; 2020a, 2020b).

A restauração ativa por plantio de mudas de árvores em todas as áreas onde a restauração passiva através da regeneração natural é limitada, é também conhecido como reflorestamento tradicional, muito aplicado nos últimos anos na restauração em larga escala (MARTINS, 2018). Entretanto, existem outras técnicas, como a nucleação, que consiste no estabelecimento e manejo de núcleos vegetais em áreas degradadas a partir da transposição de bancos de sementes de ecossistemas conservados para promover a recuperação natural (MARTINS, 2018). Além do plantio tradicional e nucleação, existem outras técnicas alternativas de restauração ativa tais como semeadura direta, plantio de enriquecimento, transplante de plântulas, sistemas agroflorestais, entre outras (OLIVEIRA & ENGEL 2017; MARTINS, 2018; MARTINS *et al.* 2020a, 2020b).

De acordo com Martins *et al.* (2015), existem áreas em que realmente o reflorestamento tradicional deve ser indicado, como em áreas agrícolas que perderam totalmente a resiliência. Entretanto, existem áreas em que outras técnicas podem ser indicadas como exclusivas ou até como complementares para aumentar a biodiversidade dos próprios reflorestamentos tradicionais (MARTINS *et al.* 2020a, 2020b). Nesse contexto, a semeadura direta de espécies arbóreas nativas, tem sido utilizada em projetos de restauração (ex, CAMPANHARO *et al.* 2020, 2021; MARTINS *et al.* 2020b).



A semeadura direta tem sido indicada sobretudo por apresentar menor custo em relação ao plantio de mudas, utilização de maiores densidades de indivíduos por unidade de área, organização espacial mais próxima ao de florestas naturais e promoção das relações interespecíficas, como facilitação e competição (GUERIN *et al.*, 2015). Em contrapartida, a técnica também apresenta algumas desvantagens, como as baixas taxas de germinação, variabilidade e dificuldade de controlar as condições de germinação em campo, a predação de sementes e mudas e a competição com espécies já presentes (CECCON *et al.*, 2015).

Nesse contexto, as bolas de sementes (*seed balls*) surgem como uma técnica de semeadura direta, que vem sendo utilizada desde o século passado, majoritariamente na agricultura e jardinagem em diferentes países (FUKOUOKA, 2009). As bolas de sementes geralmente são compostas de argila, fibra, e húmus, além de água para dar aderência, e vem sendo sugeridas para promover melhores condições de germinação das sementes, retendo a umidade e facilitando o crescimento por meio de enriquecimento de nutrientes, além de eliminar a predação de sementes e poder fornecer um banco de sementes persistente (JONES *et al.*, 2014).

As bolas de sementes podem conter em sua composição outros materiais além de água, argila e solo, como fertilizantes que auxiliem na germinação e estabelecimento das sementes (GORNISH *et al.*, 2019). Além disso, essa técnica permite conciliar espécies com diferentes funções ecológicas em um mesmo núcleo, simulando condições que ocorrem naturalmente. As técnicas de revestimento de sementes, como as bolas de sementes, são consideradas alternativas e complementares à restauração de áreas degradadas, principalmente em áreas de difícil acesso, se destacando por serem técnica de mais baixo custo em relação ao plantio de mudas (JONES *et al.*, 2014; HOLBERT *et al.*, 2019; GORNISH *et al.*, 2019).

No Brasil, em áreas onde o plantio de mudas é praticamente inviável devido as condições do terreno (declividade, acesso, entre outros) e também como técnica de enriquecimento de áreas em processo de restauração, as bolas de sementes aparecem como uma boa alternativa. Apesar do potencial para uso na restauração florestal, não existem estudos que comprovem a eficiência do uso de bolas de sementes para esta finalidade no país.

Através de uma parceria iniciada em 2018 entre a Fundação Renova e o Laboratório de Restauração Florestal (LARF), diversas pesquisas vêm sendo realizadas visando contribuir para o programa de restauração florestal das áreas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG. Uma das pesquisas mais recentes e inovadoras desta parceria foi o desenvolvimento de uma nova tecnologia de semeadura de espécies arbóreas nativas, denominada de bolas de sementes.

Bolas de sementes são conglomerados de substrato que envolvem as sementes com a finalidade de protegê-las até que as condições ambientais sejam favoráveis à germinação,





e apresentam como principais vantagens à semeadura direta tradicional: a proteção das sementes do ataque de predadores e o oferecimento de condições mais adequadas para a germinação e estabelecimento das plântulas nos períodos iniciais (JONES *et al.*, 2014). Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o uso de bolas de sementes como técnica alternativa para promover a germinação e estabelecimento de espécies arbóreas potenciais para a restauração florestal de áreas atingidas pelo rejeito.

## ■ MÉTODO

Nesse estudo, foi avaliado o uso do próprio rejeito da barragem de Fundão, puro e em mistura com outros substratos na confecção das bolas de sementes, visando o reaproveitamento do rejeito para a restauração das áreas diretamente atingidas e outras áreas na bacia do rio Doce. O experimento foi conduzido em ambiente controlado na casa de vegetação do LARF no viveiro da UFV, onde foram testadas bolas de sementes com quatro substratos e dois diâmetros diferentes.

Na definição dos tratamentos, além do rejeito (presente em todos os tratamentos), foram escolhidos mais três substratos, sendo eles: argila, composto orgânico e fino de carvão. Ambos os substratos são de fácil obtenção na região, o que influenciou na escolha destes. Assim, acredita-se que a técnica possa ser uma opção para uso na restauração da bacia do rio Doce, possibilitando a participação ativa dos produtores rurais com trabalho e geração de renda (RAUPP *et al.*, 2020).

Em relação ao diâmetro das bolas foram definidas duas classes de tamanho: bolas pequenas, de 3 cm de diâmetro, e bolas grandes, de 6 cm de diâmetro. Visando a padronização das repetições, após a confecção das bolas, todas tiveram o diâmetro conferido com um paquímetro (Figura 1a). Além disso, na seleção das espécies a serem utilizadas, optou-se pela escolha de quatro espécies arbóreas nativas que ocorrem na bacia do rio Doce, sendo duas classificadas como espécies pioneiras: canafístula (*Peltophorum dubium*) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), e duas classificadas como espécies não pioneiras: paineira (*Ceiba speciosa*) e sobrasil (*Colubrina glandulosa*). Na confecção das bolas foram incorporadas 5 sementes de cada uma das quatro espécies utilizadas, totalizando 20 sementes por bola (Figura 1b).





**Figura 1.** Medição com paquímetro do diâmetro das bolas de sementes já confeccionadas (a) e adição das sementes no interior das bolas de substrato (b). Laboratório de Restauração Florestal da UFV.



Fonte: o autor.

Todas as sementes utilizadas no experimento foram adquiridas de fornecedores de procedência e se encontravam viáveis. Para as espécies que apresentam algum tipo de dormência, foi realizada a quebra da mesma, conforme instruções do fornecedor. As sementes de *Colubrina glandulosa* e *Peltophorum dubium* foram emergidas em água em temperatura ambiente por 24 horas, e para as sementes de *Enterolobium contortisiliquum* foi realizada a escarificação mecânica com lixa.

Para a adubação das bolas de sementes, foi definida a adição de 10 gramas de fertilizante NPK (06-30-06) para cada quilo de substrato utilizado, visando fornecer melhores condições nutricionais nos estágios iniciais da germinação e fase inicial de crescimento. Além disso, para a confecção das bolas ainda foi necessária a utilização de água para dar aderência a semente ao substrato.

As bolas foram confeccionadas em laboratório e levadas para a casa de vegetação da UFV. Foram confeccionadas doze bolas (repetições) para cada um dos oito tratamentos definidos: R3: Rejeito (bola de 3 cm de diâmetro), R6: Rejeito (6 cm), RCO3: Rejeito + Composto Orgânico (3 cm), RCO6: Rejeito + Composto Orgânico (6 cm), RCA3: Rejeito + Argila (3cm), RCA6: Rejeito + Argila (6 cm), RFC3: Rejeito + Fino de Carvão (3 cm) e RFC6: Rejeito + Fino de Carvão (6 cm).





O experimento foi montado sob delineamento inteiramente casualizado, sendo utilizadas noventa e seis bolas, que foram distribuídas em doze blocos. Cada bloco foi composto por uma bandeja plástica de 20 litros, preenchida apenas com rejeito *in natura*, sem adubação, visando simular a situação normalmente encontrada nas áreas atingidas pelo rejeito, onde as bolas foram dispostas aleatoriamente. Após a distribuição das bolas nos blocos, todas foram devidamente identificadas e sinalizadas com o auxílio de uma placa de identificação (Figura 2).

**Figura 2.** Uma das bandejas com as bolas de sementes sobre o rejeito (a) e alocação das bandejas sobre as bancadas (b). Casa de vegetação, Viveiro UFV.



Fonte: o autor.

Na casa de vegetação, as bandejas foram mantidas sobre bancadas, onde a irrigação foi programada de acordo com as condições climáticas locais, com controle de umidade através de irrigação por aspersão automática. A partir da montagem do experimento, as bolas foram monitoradas e vistoriadas semanalmente. No total, foram realizadas quatorze avaliações, sendo que a primeira avaliação ocorreu sete dias e a última após noventa e nove dias da montagem do experimento. Para contabilização da germinação, as bolas foram avaliadas minuciosamente, uma a uma, tendo sido consideradas todas as sementes que emitiram radícula.

Para comparar a germinação de plântulas de cada espécie na última avaliação do experimento, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis seguido de um teste posterior de Dunn para comparar entre tratamentos (CRAWLEY, 2013). Previamente foi testada a distribuição dos dados de germinação de cada espécie com o teste Shapiro-Wilk e gráfico Q-Q, (CRAWLEY, 2013). As análises estatísticas foram realizadas no programa R 3.6.0 (R CORE TEAM, 2019).

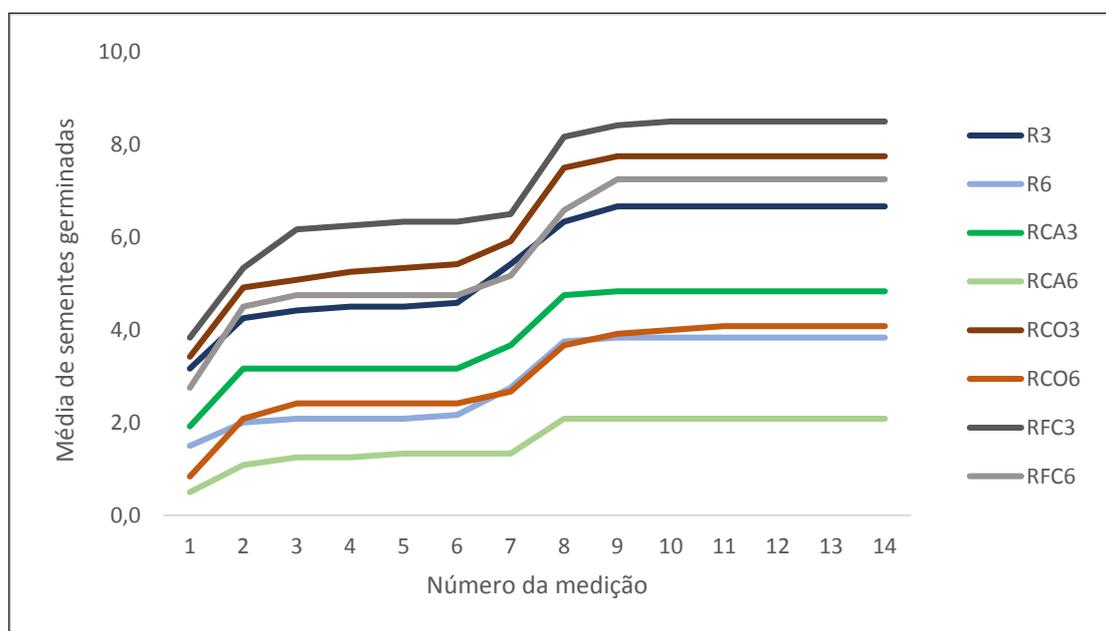




## ■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as quatro espécies utilizadas, todos os tratamentos e repetições, no total foram contabilizadas 540 sementes germinadas após 100 dias da montagem do experimento. Todos os tratamentos apresentaram sementes germinadas, sendo que a germinação foi observada da primeira até a décima primeira semana de avaliação, 77 dias após a montagem do experimento. Nas primeiras semanas observou-se um predomínio de germinação de sementes de *Ceiba speciosa*, enquanto as sementes de *Enterolobium contortisiliquum* apresentaram alta na germinação somente após cerca de dois meses da montagem do experimento. A figura 3 ilustra a tendência de crescimento e estabilização (após a 11ª semana) das médias de germinação das sementes nos tratamentos utilizados.

**Figura 3.** Evolução da média de sementes germinadas por tratamento ao longo das avaliações.



Fonte: o autor.

Todos os resultados de germinação das espécies deste experimento ficaram acima dos valores de emergência obtido no único trabalho encontrado com bolas de sementes, da espécie arbustiva no deserto de Mojave Desert, Estados Unidos, *Coleogyne ramosíssima*, onde foi atingido 5% de germinação (JONES *et al.*, 2014).

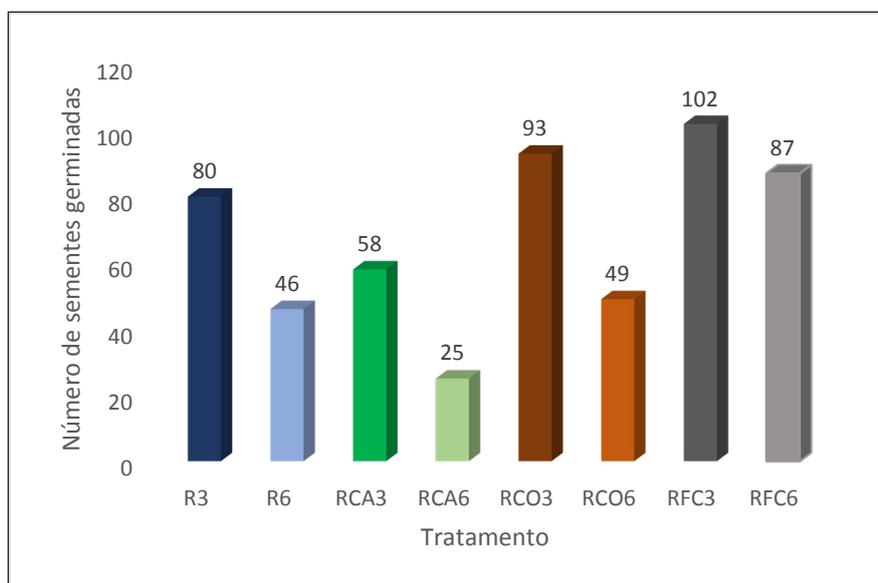
No presente estudo, *C. speciosa* apresentou a maior germinação, com um total de 295 sementes germinadas, seguida por *E. contortisiliquum*, com 183 sementes germinadas. Em contrapartida, *C. glandulosa* e *P. dubium* apresentaram menores valores de germinação no experimento, germinando um total de 36 e 26 sementes, respectivamente. É válido destacar que estes valores estão sendo influenciados por vários fatores, como as interações com o ambiente, com os substratos, e entre as espécies, que reagem de diferentes maneiras.





Em relação aos tratamentos, o tratamento com RFC3 apresentou a maior quantidade média de sementes germinadas por repetição (8,5). Na sequência os tratamentos com maiores valores foram: RCO3, RFC6 e R3, que apresentaram médias de 7,8, 7,3 e 6,7 sementes germinadas por repetição, respectivamente. No total, apenas 4 bolas não apresentaram nenhuma germinação, sendo todas pertencentes ao tratamento RCO6, o que influenciou no fato deste tratamento apresentar a menor taxa de germinação. Os tratamentos com utilização de argila apresentaram média abaixo de 5 sementes germinadas, indicando que, nestas condições, a interação da argila com o rejeito, não promoveu melhores condições para germinação das sementes das espécies utilizadas. A maior taxa de germinação no tratamento RCA3 em comparação ao RCA6 confirmam que a utilização de bolas menores ou com menores teores de argila podem diminuir efeitos negativos na germinação das sementes (JONES *et al.*, 2014).

**Figura 4.** Total de sementes germinadas por tratamento ao final das avaliações.



Fonte: o autor.

Nota-se que as bolas com menores diâmetros se destacaram com os melhores valores médios de germinação entre os seus pares de substrato e de uma maneira geral. Das 5 maiores médias de germinação, apenas a terceira foi de um tratamento com bolas de sementes com maior diâmetro (RFC6). Além disso, a utilização de fino de carvão juntamente com o rejeito demonstrou ser uma boa alternativa para promover a germinação das sementes. Até mesmo a utilização somente do próprio rejeito, nas condições deste experimento, se mostrou uma boa opção. Devido a alta densidade de sementes utilizada, o tratamento R3, por exemplo, que teve uma germinação média de 33%, indica que a cada bola de semente utilizada, germinaram cerca de 6 indivíduos de diferentes espécies, o que indica o potencial dessa técnica ao promover um núcleo com vários indivíduos.





Observou-se também que, ao longo das semanas, as bolas foram se abrindo e se incorporando ao rejeito utilizado nas bandejas. As plântulas oriundas das bolas enraizaram neste substrato e mantiveram bom desenvolvimento (Figura 4). Por terem sido usadas sementes de diferentes espécies que possuem diferentes características de germinação e desenvolvimento, as bolas de sementes formaram uma espécie de banco de plântulas, onde na área da mesma bola, se encontravam vários indivíduos com diferentes alturas.

O crescimento dessas plântulas agrupadas pode causar um efeito benéfico às sementes através da facilitação, além de promover melhorias de outros serviços ecossistêmicos (GORNISH *et al.*, 2019). Soma-se a isso também, a possibilidade de existirem sementes que ainda não germinaram, mas que se encontram viáveis, podendo formar um banco de sementes persistente nas áreas em que serão utilizadas (JONES *et al.*, 2014).

**Figura 5.** Bandejas com rejeito coberto pelas plântulas oriundas das bolas de sementes. Casa de vegetação, Viveiro UFV.



Fonte: o autor.

Ao comparar o número de todas as plântulas germinadas por espécie, os resultados indicam que apenas *C. glandulosa* apresentou diferenças entre tratamentos ( $x^2 = 28.99$ ,  $df = 7$ ,  $p < 0.001$ ), principalmente entre o tratamento RFC3 em relação aos demais. No entanto não houve diferenças entre tratamentos para as outras espécies avaliadas, *P. dubium* ( $x^2 = 12.29$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.10$ ), *E. contortisiliquum* ( $x^2 = 11.94$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.11$ ), e *C. speciosa* ( $x^2 = 7.76$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.35$ ). Estes resultados permitem inferir que medições de germinação no nível de espécies também são importantes para avaliar eficiência do método e dos tratamentos específicos. Assim foi possível constatar também que o tratamento RFC3 foi o mais





relevante e que apresentou maiores valores médios em relação a todos os tratamentos testados, para *C. glandulosa* a qual foi mais sensível em apresentar diferenças entre tratamentos.

## ■ CONCLUSÃO

A técnica das bolas de sementes utilizando o próprio rejeito, puro ou com misturas de substratos, configura-se como uma alternativa muito promissora para auxiliar na restauração das áreas atingidas por rejeito e em áreas de compensação na bacia do rio Doce, particularmente em áreas de difícil acesso, áreas com regeneração que precisam de enriquecimento, entre outras. A utilização de bolas pequenas, com cerca de 3 cm de diâmetro mostrou-se mais adequada por resultar em maiores taxas de germinação, além de serem de mais fácil transporte e lançamento manual ou via drones em áreas de difícil acesso.

A próxima etapa da pesquisa será a aplicação da técnica em condições de campo, onde serão lançadas as bolas de sementes em área com depósito de rejeito em Mariana, MG, que serão monitoradas quanto a germinação das sementes e a formação de núcleos de regeneração de espécies arbóreas nativas.

## ■ REFERÊNCIAS

1. BRASIL. (2016). Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta. **Dispõem sobre acordo entre o Governo Federal, Governo do estado de Minas Gerais, Governo do estado Espírito Santo e as mineradoras Samarco Mineração S/A, Vale S/A e BHP Billiton Brasil Ltda.** Brasília, 2016.
2. CAMPANHARO, Italo Favoreto et al. Forest restoration methods, seasonality, and penetration resistance does not influence aboveground biomass stock on mining tailings in Mariana, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n.1, 2021.
3. CAMPANHARO, Ítalo Favoreto et al. Effects of Forest Restoration Techniques on Community Diversity and Aboveground Biomass on Area Affected by Mining Tailings in Mariana, Southeastern Brazil. **Research in Ecology**, v. 2, n. 4, p. 22 - 30, 2021.
4. CECCON, Eliane; GONZÁLEZ, Edgar J.; MARTORELL, Carlos. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a Meta-analysis. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, pág. 511-520, 2016.
5. CRAWLEY, Michael J. **The R book**. John Wiley & Sons, 2012.
6. FUKUOKA, Masanobu. **The one-straw revolution: an introduction to natural farming**. New York Review of Books, 2009.
7. GORNISH, Elise; ARNOLD, Hannah; FEHMI, Jeffrey. Review of seed pelletizing strategies for arid land restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 6, p. 1206-1211, 2019.





8. GUERIN, Natália et al. Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: MARTINS, Sebastião Venâncio. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 3ª Ed, p. 331 – 376, 2015.
9. HOLBERT, J. et al. Alternative methods for reforestation and land rehabilitation to reduce the plastics waste in forest areas. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012007.
10. JONES, Lisa C.; SCHWINNING, Susanne; ESQUE, Todd C. Seedling ecology and restoration of blackbrush (*Coleogyne ramosissima*) in the Mojave Desert, United States. **Restoration ecology**, v. 22, n. 5, p. 692-700, 2014.
11. MARTINS, Sebastião Venâncio. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. Viçosa: Aprenda Fácil, 3ª Ed, 2016.
12. MARTINS, Sebastião Venâncio; MIRANDA NETO, Aurino; RIBEIRO, Tiago Maciel. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, Sebastião Venâncio. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 3ª Ed, p. 19-41, 2015.
13. MARTINS, Sebastião Venâncio. **Restauração Florestal**. Boletim de Extensão, v. 67, 19 p., 2018.
14. MARTINS, Sebastião Venâncio et al. Monitoring the passive and active ecological restoration of areas impacted by the Fundão tailings dam disruption in Mariana, Minas Gerais, Brazil. In: VLIEGER, Kristian de. (Ed.) **Recent Advances in Ecological Restoration**, New York, Nova Science Publishers, p. 51-95, 2020a.
15. MARTINS, Sebastião Venâncio et al. Study on site preparation and restoration techniques for forest restoration in mining tailings of Mariana, Brazil. **Research in Ecology**, v. 2, p. 42-52, 2020b.
16. OLIVEIRA, Renata Evangelista de; ENGEL, Vera Lex. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 40-48, 2017.
17. R CORE TEAM. R version 3.6.0. In. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2019.
18. RAUPP, Paola Pisetta et al. Direct seeding reduces the costs of tree planting for forest and savanna restoration. **Ecological Engineering**, v. 148, p. 105788, 2020.

