Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Tecnossolos elaborados com resíduos da construção civil: potencial para a
recuperação de áreas degradadas

Thayana Azevedo Lopes

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestra em Ciências. Área de concentração:
Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2020

Thayana Azevedo Lopes
Engenheira Agrônoma

Tecnossolos elaborados com resíduos da construção civil: potencial para a recuperação
de áreas degradadas

Orientador:
Prof. Dr. **TIAGO OSÓRIO FERREIRA**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestra em Ciências. Área de concentração:
Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2020

RESUMO

Tecnossolos elaborados com resíduos da construção civil: potencial para a recuperação de áreas degradadas

Os resíduos da construção civil (RCC) são gerados diariamente em grandes quantidades no Brasil e embora possam ser considerados inertes em sua maioria, a reutilização destes ainda é baixa. Uma alternativa para o reaproveitamento desses resíduos pode ser sua utilização na elaboração de Tecnossolos, que são solos que podem ser elaborados “sob medida”, com um propósito, através da mistura de vários resíduos. Estes solos são classificados pela Base de Referência Mundial para Recursos do Solo (WRB/FAO). Os Tecnossolos “sob medida” podem proporcionar condições físicas, químicas e biológicas adequadas para o crescimento de plantas. O objetivo do presente trabalho foi estudar o potencial de Tecnossolos formados a partir de RCC no estabelecimento e desenvolvimento de mudas de *Guazuma ulmifolia* Lam. (mutambo) e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr. (pau-jacaré), ambas espécies arbóreas nativas do Brasil amplamente utilizadas em projetos de restauração florestal, além da elaboração de um índice de qualidade de solo (IQS) para estes Tecnossolos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante quatro meses. Os Tecnossolos foram elaborados com RCC, com e sem adição de composto orgânico. Além disso, poderiam ter ou não a adição de biofertilizante líquido comercial nestas combinações. Utilizou-se como controle um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. Durante condução do experimento, mediu-se a altura e o diâmetro do caule ao nível do solo (DAS) das mudas a cada 15 dias, e no final avaliou-se a biomassa seca total das plantas e suas concentrações de macro e micronutrientes por espectroscopia de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF). Nos solos foram analisados o pH, cátions trocáveis, carbono orgânico total, densidade do solo, granulometria, entre outros atributos químicos e físicos. Além disso, foram realizadas análises microbiológicas, como atividades enzimáticas e carbono da biomassa microbiana. Através destas análises foi possível a seleção de indicadores para a elaboração do IQS. Os resultados demonstraram que as plantas de mutambo cresceram mais em altura e obtiveram maior produção de biomassa total em todos os Tecnossolos do que no solo controle, enquanto que as plantas de pau-jacaré apresentaram o mesmo crescimento em altura e a mesma produção total de biomassa nos Tecnossolos e no solo. Os Tecnossolos apresentaram um IQS maior que o solo controle, sendo que os Tecnossolos com RCC e composto orgânico apresentaram os maiores índices, evidenciando que além dos RCC fornecerem elementos químicos essenciais para as plantas, a presença do composto orgânico aumenta tanto as concentrações destes nutrientes e do carbono orgânico total nos solos, quanto as atividades das enzimas presentes e do carbono da biomassa microbiana. Os resultados mostraram que os Tecnossolos elaborados com RCC, com ou sem adição de composto orgânico, têm potencial para permitir o crescimento de árvores nativas do Brasil em áreas onde houve perda ou degradação de solo, além de evidenciar que é possível a construção de solos artificiais a partir de resíduos da construção civil (RCC) com qualidade comparável ou superior à de solos naturais.

Palavras-chave: Solos construídos, Resíduos sólidos, Restauração florestal, Espécies pioneiras, Qualidade do solo

ABSTRACT

Technosols made of construction debris: potential for the improvement of degraded areas

Construction and demolition debris (C&DD) are generated daily in large quantities in Brazil and, although they can be mostly considered inert, their reuse is still low. An alternative for the reuse of these residues may be their use in the elaboration of Technosols, which are soils that can be made for one purpose by mixing various wastes. These soils are classified by the World Reference Base for Soil Resources (WRB / FAO). The customized Technosols can provide physical, chemical and biological conditions for plant growth. The objective of the present work was to study the potential of these Technosols made of C&DD in the establishment and development of *Guazuma ulmifolia* Lam. (mutambo) and *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr. (pau-jacaré), which are native tree species from Brazil widely used in forest restoration projects, besides the creation of an SQI for these Technosols. The experiment was conducted in a greenhouse for four months. The Technosols were prepared with C&DD, with and without the addition of compost. In addition, they have or not a liquid biofertilizer. A Ferralsol was used as control. The height and diameter of the stem were measured every 15 days, and at the end of the experiment, the total dry biomass of the plants and their macro and micronutrient concentrations were analyzed by energy dispersion X-ray fluorescence spectroscopy. Soils were analyzed for pH, exchangeable cations, total organic carbon, soil density, granulometry, among other chemical and physical attributes. In addition, microbiological analyzes were carried out, such as enzymatic activities and carbon from microbial biomass. Through these analyzes it was possible to select indicators for the creation of the IQS. Results showed that mutambo plants grew more in height and obtained higher total biomass production in all Technosols than in the control soil, while pau-jacaré plants presented the same height and the same total biomass production in both Technosols and soil. The Technosols had an SQI higher than the control soil, and the Technosols with C&DD and compost presented the highest indexes, showing that C&DD provided essential chemical elements to plants and, in addition, the presence of compost increases both the concentrations of these nutrients and total organic carbon in soils, as well as the activities of the enzymes and carbon microbial biomass. These results showed that the Technosols made of C&DD, with or without the addition of compost, have the potential to allow the growth of native Brazilian trees in areas where there was loss or degradation of soil, in addition to showing that it is possible to build artificial soils from C&DD with comparable or superior quality to natural soils.

Keywords: Constructed soils, Residues, Forest restoration, Pioneer species, Soil quality

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é geradora de impactos ambientais devido ao intenso consumo de recursos naturais para produzir os materiais utilizados, além da geração de uma grande quantidade de resíduos após seu uso ou demolição. A Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definiu os resíduos da construção civil (RCC) como “aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos” (Brasil, 2002). No Brasil, a maior parte dos RCC são compostos por tijolos, blocos cerâmicos, argamassa, concreto e solos. Em menor quantidade podem conter brita, gesso, vidro, madeira, plásticos, papel e papelão (Bernardes et al., 2008).

Os resíduos da construção civil (RCC) representam um grave problema em muitas cidades do Brasil e do mundo porque sua disposição irregular pode gerar problemas de ordem ambiental, estética e de saúde pública. Por outro lado, podem sobrecarregar os sistemas de limpeza pública municipais (Bernardes et al., 2008). Estima-se que no Brasil são coletadas mais de 45 milhões de toneladas de RCC por ano, resultando cerca de 0,60 kg de RCC/habitante por dia (Abrelpe, 2017). Apesar de considerados como resíduos de baixa periculosidade, os RCC, devido ao grande volume gerado, consistem em um problema ambiental uma vez que precisam ser depositados adequadamente. Em 2002, a Resolução 307 do CONAMA (Brasil, 2002), alterada pela Resolução 348 de 2004 (Brasil, 2004), determinou que o gerador dos resíduos da construção civil seria o responsável pelo gerenciamento dos mesmos. Esta determinação representa um avanço legal e técnico, atribuindo responsabilidades aos geradores de resíduos, que devem assumir sua separação em diferentes classes e o seu encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada em aterros de resíduos classe A. Contudo, o destino final da maior parte dos RCC ainda são os lixões e aterros inertes (Brasil, 2002). Entretanto, poucos são os municípios do Brasil que têm unidades de reciclagem para esses tipos de resíduos (Brasil, 2018). No Brasil, o reaproveitamento desses resíduos é realizado principalmente com sua utilização como material para a mistura

asfáltica e elaboração de concreto reciclado, porém em pequena quantidade (Brasileiro e Matos, 2015).

Nas últimas décadas, diversos estudos demonstraram a viabilidade da reutilização de resíduos para a construção de solos buscando a recuperação de áreas degradadas, contaminadas, ou o aumento da fertilidade em áreas agrícolas. Os resíduos utilizados incluem lodos de esgoto, cinzas originadas em fábricas de papel, vinhaça, restos de alimentos, conchas de animais marinhos, dentre muitos outros (Ijah and Ndana, 2003; Calace et al., 2005; Benchimol et al., 2006; Battaglia et al., 2007; Bertoncini et al., 2008; Asensio et al., 2013). Alguns autores testaram a periculosidade do uso de resíduos moídos de concreto no solo (DeSutter et al., 2011; Kluge et al., 2018), porém sem avaliar se podem melhorar a qualidade de solos degradados.

O uso de resíduos, individualmente, ou em mistura, depois de meses em contato com solo e sob vegetação, podem ser considerados solos ou um novo horizonte superficial, devido às transformações físico-químicas e biológicas que sofrem durante esse período (Asensio et al., 2013; Huot et al., 2015). Os solos originados são classificados como Tecnossolos (Technosol) segundo a World Reference Base for Soil Resources (WRB) (IUSS Working Group WRB, 2014).

A classificação desses solos como Tecnossolos é recente (FAO, 2006) e segundo esta classificação, os Tecnossolos devem conter 20% ou mais de materiais tecnogênicos nos primeiros 100 cm da superfície do solo ou a rocha contínua ou uma camada cimentada. Geralmente, os solos urbanos e ou gerados por atividades de mineração são classificados como Tecnossolos. Os Tecnossolos podem ser elaborados com um propósito determinado como é o caso daqueles construídos a partir de resíduos utilizados na recuperação de áreas degradadas como substrato para o crescimento de plantas (Séré et al., 2010; Hafeez et al., 2012; Asensio et al., 2013), especialmente nos casos onde não há mais solo presente (i.e. cavas abandonadas ou exauridas de mineração).

A pesquisa sobre o uso de Tecnossolos na recuperação de espaços degradados ainda é recente (primeiro estudo em 2007; Figura 1) com apenas cerca de 217 trabalhos sobre o tema até o ano de 2018, sendo a maioria deles publicados na forma de artigos científicos (www.scopus.com). Durante estes 11 anos houve um aumento progressivo no número de publicações, entretanto com um número máximo de trabalhos por ano reduzido (de 68 trabalhos de acordo

com a base Scopus; www.scopus.com). Estes dados demonstram que apesar de ser um tema ainda pouco abordado, há um interesse crescente sobre Tecnossolos ao redor do mundo. O levantamento na base de dados foi realizado a partir do termo “Technosol”, em inglês devido a preponderância deste idioma na comunicação científica mundial. Foram selecionados trabalhos cujo termo constava nos títulos, nos resumos e nas palavras-chaves, em todas as áreas de conhecimento da base de dados do Scopus e em todos os tipos de documentos, além do período de busca ser delimitado de 2007 a 2018. O ano selecionado como inicial foi determinado devido ao primeiro registro daquele termo no banco de dados do Scopus.

Figura 1. Número de publicações sobre Tecnossolos por ano.

Os países do hemisfério norte concentram a maior parte dos estudos (França, Espanha, Alemanha, Federação Russa, Polônia, Itália, e Estados Unidos) sobre o tema enquanto o Brasil se encontra em oitavo lugar com apenas 11 publicações durante o período de 2007 a 2018 (Figura 2).

Figura 2. Número de publicações sobre Tecnossolos por países durante o período de 2007 a 2018.

Visto o crescente interesse e a escassez de estudos relacionados a Tecnossolos no Brasil, bem como os problemas ambientais envolvidos na destinação dos RCC, o presente trabalho buscou atrelar estes dois temas. Apesar da enorme quantidade disponível de RCC e de sua baixa periculosidade para o meio ambiente, o uso deste tipo de resíduo para melhorar a qualidade de solos ou mesmo produzir solos para o crescimento de plantas e recuperar áreas degradadas ainda não foi estudado.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivos: (i) avaliar o potencial de Tecnossolos elaborados a partir de RCC em promover o crescimento de espécies arbóreas nativas e (ii) aferir a qualidade de Tecnossolos construídos a partir de RCC quando comparados a solos naturais. Além disso, apresentou as seguintes hipóteses: (i) Tecnossolos construídos à base de resíduos da construção civil são capazes de permitir o crescimento de espécies arbóreas nativas do Brasil e (ii) Tecnossolos elaborados a partir de resíduos da construção civil têm qualidade comparável ou superior a de solos naturais.

2. CONCLUSÃO

A problemática ambiental acerca dos grandes volumes gerados de resíduos da construção civil (RCC), bem como a destinação inadequada destes

em todo o Brasil, requer a busca por soluções mais sustentáveis tanto a curto quanto longo prazo. Além disso, há um interesse crescente ao redor do mundo por metodologias facilmente aplicáveis e de baixo custo na recuperação de áreas degradadas. Desta forma, o presente estudo demonstra a possibilidade de se atrelar esses dois aspectos. Nossos dados evidenciam o potencial de Tecnossolos elaborados a partir de resíduos da construção civil em permitir o crescimento de espécies arbóreas nativas brasileiras em áreas onde houve perda total ou degradação severa de solos. Os resultados demonstram ainda que estes Tecnossolos apresentaram uma qualidade química e biológica (CTC total, carbono orgânico total, fósforo, cálcio, potássio, magnésio, enxofre, carbono da biomassa microbiana, β -glucosidase, arylsulfatase e fosfatase ácida) claramente superior ao solo natural usado como controle (Latossolo Vermelho-Amarelo). Os Tecnossolos elaborados com resíduos da construção civil (RCC) e composto orgânico apresentaram um índice de qualidade do solo 73% maior que o do solo controle, enquanto que os Tecnossolos elaborados apenas com RCC apresentaram um índice 18% maior.

É válido ressaltar que o uso de Tecnossolos elaborados apenas com RCC pode ser uma alternativa viável na recuperação de áreas degradadas, uma vez que promoveram um crescimento adequado de plantas; com rendimento similar ou superior ao apresentado pelo solo natural em condições ambientais controladas (casa de vegetação). No entanto, testes em campo são primordiais para validar esse estudo, uma vez que o desempenho das plantas pode ser diferente em condições de campo (ambiente não controlado). Além disso, visto que a adição de compostos orgânicos nestes Tecnossolos permite um melhor desenvolvimento das plantas, é importante a realização de estudos acerca da quantidade mínima ideal de composto orgânico a ser adicionado para se obter uma melhora significativa no crescimento das plantas. Nesse sentido, estudos futuros devem buscar avaliar a viabilidade, não somente técnica, mas econômica do uso de Tecnossolos na recuperação de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, S.P.; Proença, C.E.B.; Sano, S.M.; Ribeiro, J.F. 1998. Cerrado: Espécies Vegetais Úteis. EMBRAPA/CPAC, Brasília, DF, Brazil.
- Amacher M. C., O'Neill K. P., Perry C.H., Service F. 2007. Soil vital signs: A New soil quality index (SQI) for assessing forest soil health. Research paper RMRS/RP/65WWW. US Department of Agriculture, Fort Collins, CO.
- Andrade, M. L. F. Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras. Piracicaba, 2010. 156 p. (Dissertação de Mestrado Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo)
- Andrews, S.S.; Karlen, D.L.; Cambardella, C.A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, v.68, p.1945-1962, 2004.
- Araújo, E. A.; Ker, J. C.; Neves, J. C. L.; Lani, J. L. 2012. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- Asensio, V., Guala, S.D., Vega, F.A., Covelo, E.F., 2013. A soil quality index for reclaimed mine soils. Environ. Toxicol. Chem. 32, 2240–2248. <https://doi.org/10.1002/etc.2315>
- Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos 2017. São Paulo, 2017. Disponível em <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 19 de setembro de 2019.
- Battaglia, A., Calace, N., Nardi, E., Petronio, B.M., Pietroletti, M., 2007. Reduction of Pb and Zn bioavailable forms in metal polluted soils due to paper mill sludge addition. Effects on Pb and Zn transferability to barley. Bioresour. Technol. 98, 2993–9. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.007>
- Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz A., Bullock, J. M. (2009). Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. Science, vol. 325, Issue 5944, pp. 1121-1124. <https://doi.org/10.1126/science.1172460>
- Benchimol, R.L., Sutton, J.C., Dias-Filho, M.B., 2006. Potential of crab shell for reducing incidence of fusariosis and promoting growth of black pepper transplants. Fitopatol. Bras. 31, 180–184. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582006000200009>

- Bernardes, A., Thomé, A., Prietto, P.D.M., de Abreu, A.G., 2008. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. *Ambient. Construído* 8, 65–76.
- Bertoncini, E.I., D’Orazio, V., Senesi, N., Mattiazzo, M.E., 2008. Effects of sewage sludge amendment on the properties of two Brazilian oxisols and their humic acids. *Bioresour. Technol.* 99, 4972–9. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.024>
- Beutler, A. N.; Fernandes, L. A., Faquin, V. (2001). Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:923-928.
- Bradford, J.M., 1986. Penetrability. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of soil analysis*. Part 1, second ed. Agronomy Monograph 9. ASA-SSSA, Madison, WI, pp. 436–478.
- Brady, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- Braga, F.A.; Vale, F.R. do; Ventorin, N.; Aubert, E.; Lopes, G.A. 1995. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*, 19(1): 18-31.
- Brancalion, P. H. S.; Tay, D.; Novembre, A. D. L. C.; Rodrigues, R. R.; & Marcos Filho, J. (2010). Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seeds evaluated by an automated computer image analysis. *Scientia Agricola*, 67(3), 274-279. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000300004>
- Brancalion, P. H. S; Viani, R. A. G.; Calmon, M.; Carrascosa, H.; Rodrigues, R. R. (2013). How to Organize a Large-Scale Ecological Restoration Program? The Framework Developed by the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, vol. 32 - Issue 7: Governance, Landscapes and Livelihoods: Innovations in Tropical Forest Restoration, pp 728-744. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.817339>
- Brandes, A. F. N., Albuquerque, R. P., Moraes, L. F. D., & Barros, C. F. (2016). Annual tree rings in *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr. in a restoration experiment in the Atlantic Forest: potential for dendroecological research. *Acta Botanica Brasilica*, 30(3), 383-388. Epub July 14, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-33062016abb0101>
- BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>>

- BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, incluindo amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>>
- BRASIL. Ministério das Cidades, 2018. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018. Brasília, Brazil.
- Brasileiro, L.L., Matos, J.M.E., 2015. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica* 61, 178–189. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>
- Brejda JJ, Karlen DL, Smith JL, Allan DL. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi loess hills and Palouse prairie. *Soil Sci Soc Am J* 64:2125–2135.
- Calace, N., Campisi, T., Iacondini, A., Leoni, M., Petronio, B.M., Pietroletti, M., 2005. Metal-contaminated soil remediation by means of paper mill sludges addition: chemical and ecotoxicological evaluation. *Environ. Pollut.* 136, 485–92. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.014>
- Campoe, O. C., Iannelli, C., Stape, J. L., Cook, R. L., Mendes, J. C. T., Vivian, R., 2014. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. *For. Ecol. Manage.* 313, 233-242.
- Campoe, O. C., Stape, J. L., Mendes, J. C. T., 2010. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? *For. Ecol. Manage.* 259, 1808-1814.
- Canarache, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil & Tillage Research*. Amsterdam, 16 (1990) 51-70.
- Carvalho P.E.R. Mutamba: *Guazuma ulmifolia*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 13p.
- Carvalho, P. E. R. Pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Colombo: PR: EMBRAPA, 2004. 12 p. (Embrapa florestas. Documentos, 91).
- Cediel-Devia, D., Sandoval-Lozano, E. & Castañeda-Serrano, R. Effects of different regrowth ages and cutting heights on biomass production, bromatological composition and in vitro digestibility of *Guazuma ulmifolia* foliage. *Agroforest Systems* (2019), pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00354-y>

- Chaer, G. M., Resende, A. S., Campello, E. F. C., Faria, S. M., Boddey, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil, 2011. *Tree Physiology* 31, 139–149. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq116>.
- Chandara, C.; Azizli K. A. M.; Ahmad, Z. A.; Sakai, E. (2009). Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement. *Waste management* (New York, N.Y.). 29. 1675-9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.014>
- Cherubin MR, Karlen DL, Cerri CEP, Franco ALC, Tormena CA, Davies CA, et al. (2016) Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PLoS ONE* 11(3): 0150860. doi:10.1371/journal.pone.0150860
- DeSutter, T, Goosen-Alix, P, Prunty, L. (2011) Smooth brome (*Bromus inermis* Leyss) and soil chemical response to concrete grinding residue application. *Water, Air, & Soil Pollution* 222: 195–204.
- DeSutter, T, Goosen-Alix, P, Prunty, L. (2011) Smooth brome (*Bromus inermis* Leyss) and soil chemical response to concrete grinding residue application. *Water, Air, & Soil Pollution* 222: 195–204.
- Douterlungne, D. , Ferguson, B. G., Siddique, I. , Soto-Pinto, L. , Jiménez-Ferrer, G. and Gavito, M. E. (2015), Microsite determinants of variability in seedling and cutting establishment in tropical forest restoration plantations. *Restor Ecol*, 23: 861-871. <https://doi.org/10.1111/rec.12247>
- dos Anjos, M.J., Lopes, R.T., de Jesus, E.F.O., Assis, J.T., Cesareo, R., Barradas, C. A. A. Quantitative analysis of metals in soil using X-ray fluorescence. *Spectrochim. Acta, Part B*, 55 (2000), pp. 1189-1194. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(00)00165-8)
- Ebeling, A. G., & Anjos, Lúcia & Pérez, Daniel & Pereira, Marcos & Valladares, Gustavo. (2008). Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*. 67. 10.1590/S0006-87052008000200019.
- Egendorf S. P., Cheng Z, Deeb M, et al (2018) Landscape and Urban Planning Constructed soils for mitigating lead (Pb) exposure and promoting urban community gardening : The New York City Clean Soil Bank pilot study. *Landsc Urban Plan* 175:184–194 . doi: 10.1016/j.landurbplan.2018.03.012
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Sistema brasileiro de classificação de solos: 5. ed.: 1-353. EMBRAPA, Brasília. 2018.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230 p., 2017.

FAO, 2006. World Reference Base for Soil Resources. IUSS, ISRIC, FAO, Rome.

Ferreira, W. C., Botelho, S. A., Davide, A. C., & Faria, J. M. R. (2007). Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. Revista Árvore, 31(1), 177-185. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000100020>

Flint, A. L.; Flint, L. E. Particle density. In: DANE, J. H; TOPP, G.C. (Ed). Methods of soil analysis: part 4 – physical methods. Madison: American Society of America, 2002. p. 229-240.

Forján R, Rodríguez-vila A, Cerqueira B, et al (2018) Comparative effect of compost and technosol enhanced with biochar on the fertility of a degraded soil. Environ Monit Assess 190:610 . doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6997-4>

Gee G, Or D. Particle-size analysis. In: Dane JH, Topp C, editors. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison: Soil Science Society of America ; 2002. p.255-93.

Góes, L. G.; Quintela, M. F. Florística e estrutura de um reflorestamento no maciço da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Revista Internacional de Ciências, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 106 - 126, jul. 2015. Issn 2316-7041. <https://doi.org/10.12957/ric.2015.16690>.

Gómez-Pompa, A.; Wiechers, B. L. Regeneracion de los ecosistemas tropicales y subtropicales. In: Gómez-Pompa, A.; Amo, R. S. (Eds.). Investigaciones sobre la regeneración de las selvas altas en Vera Cruz, México. México: Companhia Editorial Continental, 1979. p. 11-30.

Gonçalves, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Documentos Florestais, Piracicaba, 15: 1-23, 1995.

Gonçalves, J. L. M.; Freixêdas, V. M.; Kageyama, P. Y.; Gonçalves, J. C.; Dias, J. H. P. Produção de biomassa e sistema radicular de espécies de diferentes estágios sucessionais. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., 1992, Campos do Jordão. Anais... São Paulo: instituto Florestal, 1992. P.363-367.

- Gu, L.-P., Kong, J.-J., Chen, K., Guo, Y.-Q. Monitoring soil biological properties during the restoration of a phosphate mine under different tree species and plantation types. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 180, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.001>
- Hafeez, F., Spor, A., Breuil, M.-C., Schwartz, C., Martin-Laurent, F., Philippot, L., 2012. Distribution of bacteria and nitrogen-cycling microbial communities along constructed Technosol depth-profiles. *J. Hazard. Mater.* 231–232, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.06.041>
- Hernández, W., Xavier, A., Paiva, H. N., & Wendling, I. (2012). Propagação vegetativa do pau-jacaré (*piptadenia gonoacantha* (MART.) MACBR.) por estaquia. *Revista Árvore*, 36(5), 813-824. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000500003>
- Huot, H., Simonnot, M., Morel, J.L., 2015. Pedogenetic Trends in Soils Formed in Technogenic Parent Materials. *Soil Sci.* 180, 182–192. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000135>
- Ijah, U.J.J., Ndana, M., 2003. Stimulated biodegradation of crude oil in soil amended with periwinkle shells. *Environmentalist* 23, 249–254. <https://doi.org/10.1023/B:ENVR.0000017379.37520.f2>
- IUSS Working Group WRB, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, Italy.
- Jenkinson, D. S.; Ladd, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E. A., Ladd, J. N. (Ed.). *Soil Biochemistry*, v.5, p.415-471, 1981.
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci Soc Am J* 61:4–10.
- Karlen, D.L.; Stott, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1994. Cap.4, p.53-72. (Special Publication, 35).
- Kaschuk, G.; Alberton, O.; Hungria, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology & Biochemistry* 42 (2010) 1–13p.

- Kelly, J.A., Samways M.J. Diversity and conservation of forest-floor arthropods on a small Seychelles island. *Biodivers. Conserv.*, 12 (2003), pp. 1793-1812. DOI: 10.1023/A:1024161722449
- Kerbaudy, G. B. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- Kluge, M., Gupta, N., Watts, B., Chadik, P.A., Ferraro, C., Townsend, T.G., 2018. Characterisation and management of concrete grinding residuals. *Waste Manag. Res.* 36, 149–158. <https://doi.org/10.1177/0734242X1774>
- Lasso, P. R. O.; Vaz, C. M. P.; Bernardi, A. C. C.; Oliveira, C. R.; Bacchi, O. O. S. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2013, 37(6), 1659-1668. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180229291022>
- Longo, R. M; Ribeiro, A. I.; Melo, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p.132-138, 2010.
- Lorenzi, H. 2002. *Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil*. v2. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP, Brazil.
- Machado, M. C. Resíduos de construção e demolição como substrato para plantas: avaliação química e ambiental. Piracicaba, 2016. 131 p. (Tese de Doutorado Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo)
- Malavolta, E. *Elemento de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres. Piracicaba. 252 p, 1980.
- Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres. São Paulo. 638p, 2006.
- Manríquez-Mendoza LY, López-Ortíz S, Pérez-Hernández P et al (2011) Agronomic and forage characteristics of *Guazuma ulmifolia* Lam. *Trop Subtrop Agroecosyst* 14:453–463.
- Masto, R. E., Sheik, S., Nehru, G., Selvi, V. A., George, J., Ram, L. C., 2015. Assessment of environmental soil quality around Sonepur Bazari mine of Raniganj coalfield, India. *Solid Earth* 6, 811–821. <https://doi.org/10.5194/se-6-811-2015>
- Mehlich, A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15:12, 1409-1416. <http://dx.doi.org/10.1080/00103628409367568>

- Mingorance M. D., Franco I, Rossini-Oliva S (2017) Application of different soil conditioners to restorate mine tailings with native (*Cistus ladanifer* L.) and non-native species (*Medicago sativa* L.). J Geochemical Explor 174:35–45 . doi: 10.1016/j.gexplo.2016.02.010
- Mukhopadhyay, S.; Maiti, S. K.; Masto, R. E. 2014. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. Ecological Engineering. 71:10-20.
- Mukhopadhyay, S., Masto, R. E., Yadav, A., George, J., Ram, L. C., Shukla, S.P., 2016. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. Sci. Total Environ. 542, 540–550. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.035>
- Nelson, D.W., Sommer, L.E. (1982) Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition. ASA-SSSA, Madison, 595-579.
- Orlandi Lasso, P. R.; Pedro Vaz, C. M.; de Campos Bernardi, A. C.; Ribeiro de Oliveira, C.; Santos Bacchi, O. O. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 6, 2013, pp. 1659-1668. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180229291022>
- Osaki, F. Calagem e adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.
- Panico, S. C.; Memoli, V.; Napoletano, P.; Esposito, F.; Colombo, C.; Maistro, G.; Marco, A De. 2019. Variation of the chemical and biological properties of a Technosol during seven years after a single application of compost. Applied Soil Ecology, Vol. 138, p. 156-159.
- Pérez-Gimeno, A., Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M., Gómez, I., Zorpas, A. (2019). The use of wastes (organic and inorganic) in land restoration in relation to their characteristics and cost. Waste Management & Research. Vol. 37(5) 502 –50. <https://doi.org/10.1177/0734242X19828171>
- Pires, H.R.A, Franco, A. C., Piedade, M. T. F., Scudeller V. V., Kruijt B., Ferreira, C. S. Flood tolerance in two tree species that inhabit both the Amazonian floodplain and the dry Cerrado savanna of Brazil, AoB PLANTS, Volume 10, Issue 6, December 2018, ply065, <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply065>
- Presotto, R. A.; Pereira, M. G.; Zonta, E.; Mattiello, E. M. Influência do Al³⁺ em solução nutritiva no crescimento de três espécies florestais utilizadas na recuperação de áreas degradadas. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 384-392, jan.- mar., 2018.

- Raij, B. Van.; Andrade, J.C.; Cantarela, H.; Quaggio, J.A., Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- Rodríguez-Vila A, Covelo E. F., Forján R., Asensio V. (2015) Recovering a copper mine soil using organic amendments and phytomanagement with *Brassica juncea* L. J Environ Manage 147:73–80 . doi: 10.1016/j.jenvman.2014.09.011
- Rokia S., Séré G., Schwartz C., et al (2014) Modelling agronomic properties of Technosols constructed with urban wastes. Waste Manag 34:2155–2162 . doi: 10.1016/j.wasman.2013.12.016
- Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa Monitoramento por Satélite – Campinas, 2010 26 p., ISSN 1806-3322.
- Rossi, C. Q. Matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em cronossequência de cana-de-açúcar cultivada no Cerrado. Seropédica, RJ, 2013. 89 p. (Tese de Doutorado Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)
- Roverdder, A. P. M.; Eltz, F. L. F.; Drescher, M. S.; Schenato, R. B.; Antomiolli, Z. I. (2009) Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. Revista Ciência Rural, Santa Maria, 39 (4): 1061-1068.
- Séré, G., Schwartz, C., Ouvrard, S., Renat, J.-C., Watteau, F., Villemin, G., Morel, J.L., 2010. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. J. Soils Sediments 10, 1246–1254. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0206-6>
- Souza, F. M.; Batista, J.L.F. 2004. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. Forest Ecology and Management 191: 185-200.
- Sousa Pereira, J., Rezende de Abreu, C., Alves Pereira Junior, R., & Carlos Rodrigues, S. 2012. Avaliação do índice de sobrevivência e crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. REVISTA GEONORTE, 3(4), 138 - 148. Disponível em: <http://periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1813>.
- Tabatabai, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Madison: ASA/SSA, 1994. p.775-883.

- Ulsen, C., Kahn, H., Angulo, S. C., & John, V. M. (2010). Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. *Revista Escola de Minas*, 63(2), 339-346. <https://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672010000200019>
- Vance, E. D.; Brookes, P.C.; Jenkinson, D.S. An extraction method for measurement soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p. 703-707, 1987.
- Velayoudon P., Pagand P., Winterton P., Guiresse M (2014) Sewage sludge application for spontaneous plant restoration of a New Caledonian Ferralsol. *Soil Res* 52:76–86.
- Viani, R. A. G.; Rodrigues, R. R.; Dawson, T. E.; Lambers, H.; Oliveira, R. S. Soil pH accounts for differences in species distribution and leaf nutrient concentrations of Brazilian woodland savannah and seasonally dry forest species. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 16 (2014), pp. 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2014.02.001>
- Wienhold, B.J., Andrews, S.S., Karlen, D.L., 2004. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environ. Geochem. Health* 26, 89–95.