

# SERVIÇOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: POTENCIAL PARA PAGAMENTO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS<sup>1</sup>

---

CAROLINE ALMEIDA SOUZA<sup>2</sup>  
AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO<sup>3</sup>  
ÉRICA DONAIRE DA SILVA<sup>4</sup>  
YOHANA CUNHA DE MELLO<sup>5</sup>  
CIRO ABBUD RIGHI<sup>6</sup>  
MARIA LUCIA SOLERA<sup>7</sup>

## Introdução

O Brasil é caracterizado por marcante geodiversidade que lhe confere expressivo potencial mineral equiparando-o às grandes potências mundiais da mineração como EUA, Rússia, Canadá, Austrália e África do Sul. O reaquecimento do setor mineral mundial a partir do início desse século, após período de situação adversa vivenciado nas décadas de 1980 e 1990, revelou já naquele momento, um novo e duradouro desafio ao setor mineral: a promoção da sustentabilidade (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

---

1. Projeto nº 2010/51233-7 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Os autores agradecem à Fapesp pelo financiamento da pesquisa que gerou o presente artigo. Os autores agradecem à colega Edna Gubitoso, do IPT, pelo apoio à revisão das citações e referências.

2. Mestre em Economia Ecológica (University of Edinburgh). Pesquisadora da Seção de Sustentabilidade de Recursos Florestais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). e-mail: caroline@ipt.br

3. Pós-doutora em Ciências Ambientais pela School of Environmental Sciences da University of East Anglia. Professora Doutora do Programa de Mestrado Profissional em Administração - Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho e do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis na Universidade Nove de Julho (Uninove). Professora Doutora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). e-mail: amarilislcfgallardo@gmail.com

4. Graduanda em Engenharia Florestal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). e-mail: erica.donairee@gmail.com

5. Graduanda em Engenharia Florestal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). e-mail: yoohmello@gmail.com

6. Doutor em Agronomia. Professor Doutor, Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). e-mail: ciro@usp.br

7. Doutoranda em Ciências Ambientais no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba/UNESP. Pesquisadora da Seção de Sustentabilidade de Recursos Florestais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). e-mail: lucinha@ipt.br

De acordo com Nunes (2006), como os recursos minerais cooperam para a qualidade de vida humana, o desenvolvimento sustentável depende da mineração. Porém, ao mesmo tempo em que os produtos gerados pela mineração propiciam uma série de benefícios e melhorias socioeconômicas e urbanas (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003; HERRMANN, 2007), suas atividades têm sido severamente criticadas devido aos impactos ambientais negativos associados (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 1990), tanto em extensão como em gravidade dos danos. Porto e Milanez (2009) apontam essas atividades como responsáveis por conflitos socioambientais que radicalizam muitas vezes em injustiça ambiental. Como exemplo, destacam-se os conflitos socioambientais vivenciados em Santa Catarina, em áreas de antigas lavras subterrâneas de carvão, que se configuram como obstáculos ao desenvolvimento sustentável local (RUIZ, *et al.*, 2014).

A recuperação das áreas degradadas com vistas a tornar a área minerada apta para um novo uso sustentável, segundo Neri e Sánchez (2010), é uma das etapas cruciais no ciclo de vida de um empreendimento minerário. Dada à significância dos impactos negativos da mineração (MECHI; SANCHES, 2010), o artigo 225 da Constituição Federal exige a Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) por mineração por parte do minerador (BRASIL, 1988), devendo este elaborar Plano de Recuperação da Área Degradada (PRAD) ao final da sua fase produtiva (BRASIL, 1989). Com relação à importância da previsão da alocação de recursos financeiros para recuperação da área degradada, Oliveira Neto e Petter (2005) enfatizam a necessidade do estabelecimento de critérios de negociação entre o poluidor – minerador – e a comunidade afetada. Apesar disso, não há marco legal brasileiro específico que assegure garantia financeira para o plano de fechamento da mina (ALMEIDA; LIMA, 2008).

Além da questão financeira, há outros interesses que norteiam o adequado planejamento para o fechamento da mina, com a recuperação do ambiente degradado e que resulte num balanço positivo para a região. Há necessidade de se garantir salvaguardas para acionistas, poder público, cadeia de fornecedores, comunidades locais e gerações futuras quanto aos impactos socioeconômicos e passivos ambientais associados (SÁNCHEZ, 2011), gerando assim uma espiral positiva de crescimento e desenvolvimento.

Conforme discutido por Prno e Slocombe (2012), as comunidades localizadas próximas às áreas de mineração têm manifestado seu descontentamento frente às abordagens convencionais de extração dos recursos naturais, exigindo uma maior parcela na repartição dos benefícios auferidos. Para Porto e Milanez (2009), o modelo de desenvolvimento brasileiro fortemente baseado na produção de *commodities* pode ser considerado ambientalmente insustentável e socialmente injusto – visto que os processos produtivos são incapazes de quebrar o metabolismo social instalado, apenas minimizando ou compensando parte dos impactos socioambientais deflagrados. Dessa maneira contribui diretamente para a intensificação dos conflitos econômicos e socioambientais. Por outro lado, esta situação abre possibilidades de discussão que poderão colaborar para que a relação entre o minerador e a comunidade afetada evolua em bases mais justas e sustentáveis.

Segundo Jenkins e Yakovleva (2006), é crescente a importância devotada pelas empresas do setor mineral à busca e divulgação das suas práticas de responsabilidade social. Kapelus (2002) e Jenkins (2004) enfatizam que essa preocupação vem-se construindo

em anos recentes como um modo de reverter a questionável reputação do setor mineral quanto à responsabilidade social, principalmente no tocante ao relacionamento com comunidades locais, de acordo com as profundas perturbações causadas pela atividade.

A responsabilidade socioambiental do setor deveria ir além de buscar minimamente garantias financeiras para o fechamento da mina, evitar conflitos socioambientais e recuperar o ambiente degradado; mas avançar para maximizar os benefícios à sociedade e ao meio ambiente auferidos na etapa pós-mineração, proporcionando novos usos para as áreas. Uma vez que os Serviços Ecossistêmicos (SE) são os benefícios gerados, direta ou indiretamente, à qualidade de vida humana a partir das funções dos ecossistemas (COSTANZA *et al.*, 1997), o aprimoramento da etapa de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) de minerações, em que seja contemplada e ampliada a oferta de SE, agregaria valor nesse contexto.

A importância de promover *benchmarking* nas práticas de recuperação de minas foi destacada por Neri e Sánchez (2010), que constataram que mesmo minerações com sistema certificado de gestão ambiental dedicam pouca atenção ao planejamento da recuperação da área degradada agregando ganhos à biodiversidade.

Para promover uma melhor repartição dos benefícios para comunidades e contribuir desse modo para a redução de conflitos socioambientais e, conseqüentemente, injustiça social nos empreendimentos minerários, a valorização dos SE na fase de planejamento mineral tem sido discutida na literatura. Bian e Lu (2013) demonstraram, com o apoio de ferramentas de sensoriamento remoto, como a mudança do uso do solo pela mineração afeta o meio ambiente e a oferta de SE ao longo do tempo de exploração da mina. A Corporação Financeira Internacional do Grupo Banco Mundial - (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2012) tem preconizado que os SE sejam considerados na elaboração dos estudos de impacto ambiental (EIA). Nesse sentido, estudos recentes têm-se dedicado a avaliar a abordagem de SE à tradicional prática de execução de EIAs para o setor mineral, como em Rosa e Sánchez (2015) e Damigos *et al.* (2015).

Esse panorama desperta a atenção para a possibilidade de inserção do setor minerário brasileiro nas discussões atuais sobre SE e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Brasil. Seguindo essa lógica, o aprimoramento de técnicas de RAD por mineração pode ampliar a geração de benefícios, entendidos como SE, no encerramento da atividade minerária, para além do exigido pela legislação ambiental.

Este artigo tem o objetivo de discutir o potencial de associação de Serviços Ambientais às técnicas de Recuperação das Áreas Degradadas por mineração à luz da tendência atual de PSA no Brasil.

Para tanto, o artigo está organizado da seguinte forma: são apresentadas duas breves revisões bibliográficas acerca: a) da diferença entre os termos “Serviços Ecossistêmicos” e “Serviços Ambientais” no que se refere a programas de pagamento do provimento desses serviços; b) do contexto em que se insere o panorama nacional de estabelecimento de programas de PSA. Na sequência, de modo analítico estabelece-se uma reflexão sobre: c) o estágio atual da identificação de SA relacionados às práticas adotadas e potenciais de RAD por mineração e; d) os possíveis SA que podem ser associados às técnicas de RAD por mineração frente ao panorama atual de PSA no país.

## Serviços Ecossistêmicos ou Serviços Ambientais?

Os termos Serviços Ecossistêmicos (SE) e Serviços Ambientais (SA), e consequentemente o pagamento pelos mesmos, são encontrados como sinônimos ou caracterizados distintamente na literatura (WUNDER, 2015). Em recente revisão sobre definições relacionadas ao pagamento pela provisão de tais serviços, Derissen e Latacz-Lohmann (2013) indicam uma diferença crucial entre os termos na literatura científica. Segundo esses autores, SE estão relacionados aos benefícios gerados às pessoas, obtidos pelos ecossistemas, definição coerente com a adotada por Costanza *et al.* (1997), pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005) e pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2015), sendo aceita pela maioria dos autores na literatura científica contemporânea. Quanto aos SA, esses autores conceituam como os benefícios à qualidade de vida das pessoas associados à adoção de práticas de manejo de recursos naturais, ou seja, gerados pela intervenção humana. Essa definição também é aceita e adotada por vários autores na literatura, como em Chomitz, Brenes e Constantino (1999), Kroeger (2013), Schomers e Matzdorf (2013) e Wunder (2015).

Por outro lado, Balvanera *et al.* (2012), em revisão realizada acerca do estado da arte sobre “Serviços Ecossistêmicos” na América Latina, utilizam o termo “Pagamento por Serviços Ecossistêmicos” ao se referirem aos programas de pagamento ao invés de utilizarem o termo “Pagamento por Serviços Ambientais” – mais usualmente adotado no marco regulatório brasileiro sobre a questão e em estudos que tratam do tema no Brasil (BRASIL, 2007; GUEDES, SEEHUSEN, 2011; MORAES, 2012; PAGIOLA, VON GLEHN, TAFFARELLO, 2013).

Guedes e Seehusen (2011), em publicação que abordam o PSA na Mata Atlântica, optaram por utilizar o termo “Serviços Ambientais” por considerarem que engloba tanto os “Serviços Ecossistêmicos” (proporcionados ao homem pelos ecossistemas) quanto àqueles providos por ecossistemas manejados pelo homem. Segundo esses autores, esse último caso contemplaria práticas sustentáveis que podem influenciar positivamente a oferta dos serviços, nesse caso ambientais.

No que se refere ao Brasil, o projeto de lei que trata do tema SA e da possibilidade de pagamento por sua promoção (BRASIL, 2007) e o decreto federal que regulamenta a aplicação do Fundo Nacional sobre a Mudança do Clima – sendo uma das opções possíveis a destinação dos recursos ao PSA relacionadas a atividades que promovam a estocagem de carbono (BRASIL, 2010) –, adotam o termo “Serviços Ambientais” ao invés de “Serviços Ecossistêmicos”. O mesmo ocorre em programas de PSA estaduais vigentes no Brasil, tais como no Acre (2010), Paraná (2012), Espírito Santo (2012), Santa Catarina (2010) e Rio de Janeiro (2011). Observa-se nítida prevalência do termo “Serviços Ambientais” na discussão local sobre Pagamentos por Serviços Ambientais, provavelmente pelo fato de que o marco legal brasileiro condiciona a adoção de práticas de manejo à geração de benefícios ambientais associados para participação dos esquemas de PSA.

Desse modo, neste artigo utiliza-se esta nomenclatura Serviços Ambientais por se entender que melhor se ajusta ao contexto em que se discute a proposição. Entretanto,

ao longo do texto, na citação de referências sobre o tema serão mantidas as opções de nomenclaturas adotadas pelos autores aludidos.

## Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil: Contextualização

O conceito de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) não é consenso e nem mesmo sua nomenclatura é homogênea na literatura científica, sendo tratado tanto como “Pagamento por Serviços Ambientais” – em Engel, Pagiola e Wunder (2008), Legrand, Froger, Le Coq (2013) e Démurger e Pelletier (2015) – e como “Pagamento por Serviços Ecosistêmicos” – em Farley e Costanza (2010), Schomers, Matzdorf (2013) e Matthies *et al.* (2015).

Nesse sentido, Farley e Costanza (2010) consideram o Pagamento por Serviços Ecosistêmicos (PSE) como um meio para gerenciar os ecossistemas utilizando incentivos econômicos – o que para Wunder (2005, p. 3), autor pioneiro na conceituação do mecanismo de PSA, significa satisfazer cinco critérios: “a) ser uma transação voluntária b) onde um SA bem definido (ou um uso da terra que provavelmente assegure a provisão do SA) c) é adquirido por pelo menos um comprador d) por pelo menos um provedor e) se e somente se o provedor do SA assegure essa provisão (condicionalidade)” (WUNDER, 2005, p. 3).

Essa definição vem sendo analisada e criticada por vários autores como Farley e Costanza (2010) para quem o PSA (nesse caso tratado como PSE), considerando a lógica da economia ecológica, deve priorizar a sustentabilidade ecológica e sua justa distribuição. Isso se contrapõe à abordagem da economia ambiental que preconiza inserir os SA no modelo de mercado, com ênfase na sua eficiência. Muradian *et al.* (2010) também fazem ressalvas ao uso do modelo de mercado, dada as complexidades associadas a questões quanto à distribuição, integração social e relações de poder. Desse modo os autores reconhecem as variedades de contextos e ambientes institucionais em que os esquemas de PSA podem operar, defendendo uma abordagem alternativa que considere esses aspectos.

Sobre a importância de se considerar a complexidade da sustentabilidade ecológica e suas incertezas, Romeiro (2006) ressalta que alguns SA são insubstituíveis e que os ecossistemas têm limites de funcionamento, já que existem riscos de perdas irreversíveis que afetariam a provisão de tais serviços. Pascual *et al.* (2010) agregam a importância da discussão entre equidade e eficiência nos esquemas de PSA com ênfase nas percepções sociais sobre justiça econômica ou sobre a justiça na distribuição dos pagamentos.

Andrade e Romeiro (2013) enfatizam que a valoração dos SE – passo importante para a definição do valor a ser considerado nos esquemas de PSA – deve ser ampla, incluindo critérios de sustentabilidade (dimensões ecológica e social, além da econômica) e ser baseada na transdisciplinariedade, devido à complexidade dos processos ecossistêmicos e suas interações com as variáveis humanas. Esses autores argumentam que esse processo de valoração não reducionista evita negligenciar os valores e as contribuições dos SE para o bem-estar humano, integrando os objetivos de sustentabilidade ecológica, justiça social e eficiência econômica. Dessa forma, os autores sugerem que a valoração englobe não somente os preços de mercado, mas também valores não econômicos associados aos

ecossistemas. Isso implica considerar a interdependência entre os componentes do capital natural e as visões que diferentes grupos de indivíduos têm sobre as diversas categorias de SE e suas dimensões culturais e éticas. Os autores ressaltam, portanto, que os modelos de valoração devem ser dinâmicos, com refinamentos constantes no sentido de representar, da melhor maneira possível, a interação entre os meios natural e humano, o que facilitará o processo de negociação nos esquemas de PSA, tornando-os mais transparentes.

Por fim, o próprio Wunder (2015, p. 241), passados 10 anos, revisitou sua definição para PSA, considerando as críticas e análises observadas na literatura científica. Nesse sentido, o autor propõe um conceito de modelo ideal de PSA, incluindo as seguintes alterações na sua definição precursora: “a) transação voluntária b) entre usuários do SA c) e seus provedores d) condicionadas em regras acordadas de manejo de recursos naturais e) para gerar SA além do local onde são originados” (WUNDER, 2015, p. 241).

Independentemente do enquadramento em uma definição de PSA, o fato é que esquemas de PSA têm sido colocados em prática desde os anos de 1990, cada um com particularidades quanto aos objetivos, arranjos institucionais adotados, inclusão de prerrogativas governamentais e atendimento dos anseios das populações locais (ELOY; COUDEL; TONI, 2013).

Os principais esquemas de PSA documentados no mundo consideram as seguintes categorias de SA: retenção ou captação de carbono; conservação da biodiversidade; conservação dos recursos hídricos; e conservação da beleza cênica (WUNDER *et al.*, 2009). Levantamento realizado por Balvanera *et al.* (2012) na América Latina, ressaltou que poucos serviços são considerados em esquemas de PSE, notadamente, prevalecem aqueles relacionados a carbono e água. As primeiras experiências no Brasil seguiram essa mesma linha, sendo baseadas na conservação dos recursos hídricos, na manutenção de floresta nativa e na adoção de práticas agroecológicas (ELOY; COUDEL; TONI, 2013).

Porém, percebe-se que o cenário atual no Brasil apresenta uma tendência de diversificação de SA considerados nos PSA vigentes e em fase de proposição. Da análise dos instrumentos normativos de esquemas governamentais de PSA propostos até 2012, percebe-se que há os abrangentes, como a proposta de Política Nacional de PSA (BRASIL, 2007) que considera SA de qualquer natureza ou específicos como, nos programas dos estados do Acre, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Paraná. Nos casos onde os SA são especificados, explicitam-se os relacionados à retenção ou captação de carbono (ACRE, 2010; RIO DE JANEIRO, 2011; PARANÁ, 2012), à conservação da biodiversidade (ACRE, 2010; SANTA CATARINA, 2010; RIO DE JANEIRO, 2011; PARANÁ, 2012), à conservação do solo (ACRE, 2010; SANTA CATARINA, 2010) e da água (ACRE, 2010; SANTA CATARINA, 2010; RIO DE JANEIRO, 2011; ESPÍRITO SANTO, 2012; PARANÁ, 2012), à conservação da beleza cênica (ACRE, 2010; SANTA CATARINA, 2010) e à conservação dos recursos naturais (ESPÍRITO SANTO, 2012).

Além dos esquemas especificamente de PSA há, no Brasil, programas e projetos governamentais que seguem o mesmo princípio de esquemas de PSA, como os relacionados à conservação do solo (SÃO PAULO, 1993, 1997; EXTREMA, 2005; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008) e da água (SÃO PAULO, 1993, 1997; EXTREMA, 2005; ACRE, 2008;

MINAS GERAIS, 2008; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008; SÃO PAULO, 2009, 2010), à retenção ou captação de carbono (ACRE, 2008; BRASIL, 2008; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008; SÃO PAULO, 2009, 2010; BRASIL, 2010; BRASIL, 2011a), à conservação da biodiversidade (ACRE, 2008; MINAS GERAIS, 2008; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008; SÃO PAULO, 2009, 2010; BRASIL, 2011a) e à conservação dos recursos naturais (AMAZONAS, 2007; ACRE, 2008; BRASIL, 2008; BRASIL, 2011a, 2011b). Em relação ao Pagamento pelos SA, este se dá monetariamente, remunerando-se pela adoção de práticas geradoras de SA (EXTREMA, 2005; AMAZONAS, 2007; BRASIL, 2007; ACRE, 2008; BRASIL, 2008; MINAS GERAIS, 2008; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008; SÃO PAULO, 2009, 2010; BRASIL, 2010; SANTA CATARINA, 2010; BRASIL, 2011a, 2011b; RIO DE JANEIRO, 2011; ESPÍRITO SANTO, 2012; PARANÁ, 2012), ou não monetariamente, por exemplo, por meio de fomento a atividades geradoras de SA (SÃO PAULO, 1993, 1997; BRASIL, 2007; OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008; ACRE, 2010).

Assim, percebe-se, no Brasil, a elaboração de marco regulatório nas esferas federal, estadual e municipal para a implementação de esquemas de PSA relacionados à: redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), aumento de estoques de carbono; conservação da biodiversidade; conservação do solo e da água; conservação da beleza cênica; e conservação dos recursos naturais – representados principalmente por atividades de preservação e conservação de florestas; pelo aumento da cobertura florestal e da conectividade de fragmentos florestais; e pela adoção de práticas de conservação do solo e da água.

O público alvo dos esquemas de PSA analisados geralmente está relacionado àqueles que adotam boas práticas produtivas – notadamente pequenos produtores, produtores familiares, população de assentamentos rurais e florestais e comunidades tradicionais (ACRE, 2008; SANTA CATARINA, 2010) – e com aqueles (proprietário rural ou facilitador) que promovam a conservação dos recursos naturais e RAD – notadamente a conservação de florestas e dos recursos hídricos (ACRE, 2010; SANTA CATARINA, 2010; RIO DE JANEIRO, 2011; ESPÍRITO SANTO, 2012; PARANÁ, 2012).

Nota-se também que os esquemas de PSA em questão não relacionam o Pagamento à quantidade de SA efetivamente gerada. Eloy, Coudel e Toni (2013) indicam que essa situação pode ser explicada, pois há uma predominância em se considerar a manutenção da vegetação natural como um *proxi* para SA prestados, o que reduziria o interesse de mensurar os SA gerados. Isso evidencia que, nesse estágio inicial de elaboração do marco regulatório sobre PSA no Brasil, o importante é relacionar o pagamento a uma atividade que leve à conservação ou restauração de SE. Essa abordagem é coerente com Kroeger (2013), que defende que aspectos como a quantificação da melhoria da qualidade de vida humana proporcionada pelos PSA não devem impedir a atual disseminação de esquemas de PSA. O autor explica que conforme os conhecimentos sobre essa questão evoluírem estes poderão ser incorporados aos PSA existentes.

## Método

Nessa pesquisa de natureza exploratória e de abordagem qualitativa utilizou-se como instrumento a revisão bibliográfica, seguida de análise de conteúdo.

A escolha das palavras-chave para a revisão, como se trata de um estudo exploratório pautado exclusivamente em pesquisa bibliográfica, contemplou exatamente os construtos da pesquisa, de modo a atingir o objetivo estabelecido.

Para propiciar a reflexão sobre o estágio atual da identificação de SA relacionados às práticas adotadas e potenciais de RAD por mineração foi realizada a busca nas bases de dados digitais Scielo, *Science direct*, infoteca da Embrapa e Dedalus, considerando o período de 2000 a 2012 e para tanto foram consideradas as palavras-chave: *recovery*, *degraded area* e *mining* no *Science direct* e *recuperação*, *áreas degradadas* e *mineração* nas demais bases; tendo como resultado a identificação de oito artigos.

Para a busca de material de suporte à reflexão acerca dos possíveis SA que podem ser associados às técnicas de RAD por mineração, frente ao panorama atual de PSA no Brasil, utilizaram-se as mesmas bases de dados, porém o período foi mais amplo, de 1990 até 2012. As palavras-chave utilizadas nas buscas foram: *recovery* e *degraded area* no *Science direct*; *recuperação* e *áreas degradadas* nas demais bases de dados; e foram obtidos 43 trabalhos no total.

Em seguida, utilizou-se o referencial para análise de conteúdo de Bardin (2007), para propiciar um ordenamento sistêmico da informação. A análise de conteúdo é uma técnica que possibilita avaliar sistematicamente e objetivamente o conteúdo de comunicações e de artigos técnicos, não se restringindo à descrição dos conteúdos, mas inferindo sobre a comunicação, buscando identificar as causas e efeitos da mensagem (MARTINS; THEÓPHILO, 2009).

A análise de conteúdo aplicando-se os preceitos de Bardin (2007) realizou-se para:

a) trabalhos que verificaram os benefícios (serviços) ambientais gerados pela RAD por mineração no Brasil (oito trabalhos no total): foram utilizadas como unidades de registro as próprias palavras-chave, que em seguida foram submetidas à análise qualitativa por meio de duas categorias agrupadas sob critério semântico (temas) - técnicas adotadas em RAD de mineração e manejo empregado. A seguir no tratamento dos dados das categorias foi feita a inferência a qual permitiu identificar o serviço ambiental associado.

b) trabalhos que utilizavam técnicas adotadas e potenciais de RAD aplicadas aos projetos de RAD em geral (não restritos a mineração), com o intuito de identificar uma maior gama de benefícios (serviços) ambientais: foram utilizadas como unidades de registro as próprias palavras-chave, que em seguida foram submetidas à análise qualitativa utilizando-se apenas uma categoria agrupada sob critério semântico (tema) - técnicas adotadas em RAD. Posteriormente, também foi realizada a inferência acerca do serviço ambiental identificado, nesse caso não restrito à mineração, de modo a ampliar o potencial de análise.

## Serviços Ambientais associados às técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas por mineração

A RAD é a fase da atividade mineradora que visa mitigar ou compensar os impactos negativos gerados ao meio ambiente e à população afetada. Portanto, pode-se considerar que a RAD por mineração possibilita gerar benefícios ao meio ambiente e à sociedade, pois permite restabelecer ou aprimorar características do ecossistema degradado pela atividade



mineradora. Nesse contexto, a RAD por mineração se integra aos SA e as técnicas de RAD aqui analisadas são as que apresentam identificação de algum SA, prioritariamente as técnicas de revegetação.

A partir da análise bibliográfica realizada foi possível consolidar o Quadro 1 que destaca as práticas de RAD adotadas por diferentes atividades minerárias e os possíveis SA identificados. O Quadro 2 apresenta práticas de RAD não exclusivas à mineração e os Serviços Ambientais associados, de modo a destacar a aplicabilidade das mesmas no contexto minerário, também como forma de auferir esses SA identificados.

Os resultados da pesquisa são apresentados em termos das a) técnicas convencionais de RAD em mineração e em outras atividades produtivas e SA associados e b) técnicas potenciais de RAD em mineração e SA Associados; à luz dos dados sintetizados nos Quadros 1 e 2 e com vistas a discussão de eventual esquema de PSA para o setor minerário no Brasil.

**Quadro 1 - SA identificados nas práticas de RAD por mineração.**

Técnica adotada de RAD por mineração	Manejo adotado para favorecer a restauração de Serviços Ecossistêmicos	Tipo de mineração geradora da área degradada	Serviço ambiental identificado	Referências
Revegetação com espécies nativas	Fertilização mineral, subsolagem e recolocação de <i>topsoil</i>	Extração de Bauxita	Aumento de teores de matéria orgânica do solo; recomposição dos aspectos biológicos do solo; aumento da produção de matéria seca da adubação verde; aumento da mobilização de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio).	Moreira (2004)
	Plantio de espécies nativas	Extração de areia	Melhoria da qualidade do substrato; favorecimento da regeneração natural.	Almeida (2010)
	Plantio de espécies nativas	Extração de areia	Favorecimento da recuperação florestal (alta taxa de sobrevivência das mudas).	Knapik e Maranhão (2007)
	Regeneração natural com a conservação de fragmentos do entorno	Extração de ouro	Atração de fauna dispersora; favorecimento da sucessão secundária.	Rodrigues, Martins e Barros (2004)
	Plantio de Bracatinga ( <i>Mimosa scabrella</i> ), com regularização topográfica, adição de insumos e serapilheira e instalação de poleiros artificiais	Extração de argila	Favorecimento da recuperação florestal (maior cobertura do solo pelas copas das árvores, favorecimento da introdução de sementes advindas de outras áreas, favorecimento da dispersão de sementes, promoção da regeneração natural).	Regensburger (2004)
Revegetação com espécies comerciais exóticas	Plantio de <i>Acacia mangium</i>	Extração de Bauxita	Aumento da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares no estéril recuperado.	Caproni <i>et al.</i> (2005)
Biorremediação	Uso de rizobactérias formadoras de endósporos, associadas ao plantio de <i>Tibouchina urvilleana</i> em área degradada por rejeitos	Extração de carvão	Redução da contaminação do solo e dos recursos hídricos; favorecimento do crescimento vegetal em áreas contaminadas por metais pesados; redução da toxicidade por metais pesados na rizosfera.	Pereira e Castro-Silva (2010)
	Uso de cianobactérias	Extração de ouro	Redução da contaminação do solo e dos recursos hídricos.	Souza (2007)

Fonte: Elaborado pelos autores

## Quadro 2 – SA associados à RAD em geral, com potencial para associação à RAD por mineração. (continua)

Técnica de RAD	Serviço ambiental identificado	Referências
Revegetação	Aumento nos níveis de nutrientes e serapilheira no solo.	Grubb (1995); Kobayashi (2004); Macedo <i>et al.</i> (2008); Jeddi e Chaieb (2012)
	Restauração da produtividade; redução da erosão.	Parrotta (1992); Montagnini (2000);
	Aumento da biodiversidade; aceleração do processo de regeneração.	Guariguata, Rheingans e Montagnini (1995); Kuusipalo <i>et al.</i> (1995); Hagggar, Wightman e Fisher (1997); Keenan <i>et al.</i> (1997); Lugo (1997); Parrotta, Turnbull e Jones (1997); Powers, Hagggar e Fisher (1997); Keenan <i>et al.</i> (1999); Ashton <i>et al.</i> (2001); Carnevale e Montagnini (2002); Jeddi e Chaieb (2012)
	Promoção da diversificação de fungos micorrízicos arbusculares; favorecimento do processo de sucessão ecológica.	Newsham, Fitter e Watkinson (1995); Guerrero, Rivillas e Rivera (1996); Alguacil <i>et al.</i> (2011)
	Favorecimento do estabelecimento das mudas no campo; favorecimento na absorção de nutrientes, água e proteção contra patógenos radiculares (todos estes em decorrência da diversificação de fungos micorrízicos).	Newsham, Fitter e Watkinson (1995)
	Restabelecimento do estoque de carbono no solo; sequestro de carbono e melhoria na qualidade da água.	Macedo <i>et al.</i> (2008)
	Favorecimento da recomposição da biodiversidade; atração de fauna dispersora; favorecimento do processo de sucessão ecológica; provisão de madeira para comercialização.	Cusack e Montagnini (2004)
Revegetação com espécies comerciais exóticas	Favorecimento ao desenvolvimento de espécies vegetais menos tolerantes a condições adversas; provisão de produtos florestais.	McNamara (2006)
	Melhoria das condições do solo; favorecimento ao desenvolvimento de espécies vegetais menos tolerantes a condições adversas.	Lamb e Tomlinson (1993); Jeddi e Chaieb (2012);
	Aumento/conservação da biodiversidade.	McNamara (2006); Jeddi e Chaieb (2012)
	Proteção dos recursos hídricos; aumento da resiliência a impactos ambientais negativos.	McNamara (2006)

Fonte: Elaborado pelos autores

## Quadro 2 – SA associados à RAD em geral, com potencial para associação à RAD por mineração. (continuação).

Técnica de RAD	Serviço ambiental identificado	Referência
Biorremediação	Descontaminação do solo e dos recursos hídricos.	Roitman, Travassos e Azevedo, (1987); Melo e Azevedo (1998); Accioly e Siqueira (2000); Pires <i>et al.</i> (2003); Sprocati <i>et al.</i> (2006); Soares e Casagrande (2007); Souza (2007)
Revegetação para fins de manejo florestal comunitário	Melhoria na produção de recursos florestais; provisão de produtos madeireiros e não-madeireiros.	Kobayashi (2004); Nawir, Murniati e Rumboko (2007)
Revegetação com sistemas agroflorestais (SAFs)	Provisão de produtos agroflorestais.	Brienza Júnior, Vieira e Yared (1995); Amador (1999); Armando <i>et al.</i> (2002); Fávoro, Lovo e Mendonça (2008)
	Sequestro de carbono.	Jose (2009); Aerts e Honnay (2011)
	Melhoria de fluxo de nutrientes.	Wadt (2003); Fávoro, Lovo e Mendonça (2008); Jose (2009); Aerts e Honnay (2011)
	Melhoria da qualidade da água.	Jose (2009); Aerts e Honnay (2011)
	Fornecimento de habitat para espécies que toleram certo nível de perturbação; favorecimento da preservação de germoplasma de espécies sensíveis; favorecimento da conectividade entre remanescentes florestais; controle de pragas; polinização e dispersão de sementes; mitigação de inundações; melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; limitação da dispersão de material particulado e de odores no ar; redução de poluição sonora.	Jose (2009)
Bioengenharia de solos	Contenção da erosão de solos.	Pinheiro (1971); Fernandes (2004); Galas (2006); Holanda, Rocha e Oliveira (2008)
	Diminuição da quantidade de água que alcança o solo; diminuição da poro-pressão positiva ou a elevação da sucção; aumento da coesão do conjunto solo-raiz.	Lemes (2001)
	Favorecimento do desenvolvimento de vegetação ciliar.	Holanda, Rocha e Oliveira (2008)

Fonte: Elaborado pelos autores

### *Técnicas convencionais de RAD em mineração e SA associados*

A revegetação tem sido predominantemente adotada em minas médias e grandes situadas em zonas rurais do país com a finalidade de atenuar o impacto visual (BITAR, 1997) ou de atender às exigências legais de recuperar áreas mineradas (SANTO; SÁNCHEZ, 2002). Evans *et al.* (2013) argumentam que a revegetação em áreas degradadas por mineração é um processo difícil e longo que deve ser monitorado e avaliado periodicamente quanto ao seu progresso e aos SA intermediários prestados. Assim, é possível adaptar o manejo da área para favorecer seu sucesso na RAD para desse modo recuperar os SE perdidos. Os autores citam como SA associados à revegetação em áreas degradadas por mineração: 1. regulação da qualidade e quantidade hídrica, 2. formação de solo e aumento da capacidade de infiltração, 3. sequestro de carbono, 4. fixação de nitrogênio, 5. proteção de habitat aquático, 6. controle da erosão, 7. favorecimento do aumento da biodiversidade, 8. aumento da resiliência, 9. produção de alimento e provisão de habitat para a fauna silvestre.

## Revegetação com espécies nativas

No caso da revegetação com espécies nativas em áreas de mineração observa-se que há estudos que constatarem SA relacionados à melhoria das condições físico-químicas e biológicas do solo, como os realizados por Moreira (2004) e Almeida (2010). Knapik e Maranhão (2007), Almeida (2010), Rodrigues, Martins e Barros (2004) e Regensburger (2004) identificaram SA relacionados ao favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal. O Quadro 1 apresenta os SA identificados nesses estudos.

Estudos que avaliam a revegetação como medida de RAD em geral (não específica para o setor de mineração) corroboram os SA identificados no Quadro 1. Muitos autores mencionam o potencial do componente vegetal no que tange à melhoria das qualidades físico-químicas e biológicas do solo, como Parrotta (1992), Grubb (1995), Montagnini (2000), Kobayashi (2004), Macedo *et al.* (2008) e Jeddi e Chaieb (2012). Diversos outros estudos também comprovaram o potencial da revegetação, com espécies nativas ou exóticas, para o favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal, como Kuusipalo *et al.* (1995), Guariguata, Rheingans e Montagnini (1995), Hagggar, Wightman e Fisher (1997), Lugo (1997), Parrotta, Turnbull e Jones (1997), Powers, Hagggar e Fisher (1997), Keenan *et al.* (1997), Keenan *et al.* (1999); Ashton *et al.* (2001), Carnevale e Montagnini (2002) e Jeddi e Chaieb (2012).

Newsham, Fitter e Watkinson (1995), Guerrero, Rivillas e Rivera (1996) e Alguacil *et al.* (2011) ressaltaram a importância da heterogeneidade da diversidade de espécies vegetais na revegetação para a promoção de SA relacionados ao favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal. O Quadro 2 apresenta os SA identificados nos estudos citados.

Ainda nesse Quadro pode-se observar que, além dos SA apresentados no Quadro 1, outros podem ser associados à revegetação de áreas degradadas por mineração. Assim, tem-se os SA observados por Macedo *et al.* (2008) que estão relacionados à melhoria da qualidade dos recursos hídricos e aumento dos estoques de carbono e aqueles apontados por Cusack e Montagnini (2004) relacionados ao favorecimento da biodiversidade e à provisão de produtos madeireiros.

## Revegetação com uso de espécies comerciais exóticas

Um grande impasse na revegetação com espécies nativas consiste no fato de que poucas espécies são capazes de tolerar as condições adversas de áreas degradadas. Nessas circunstâncias, o uso de espécies exóticas mais aptas a esses locais e a melhorar as condições do solo pode ser uma opção, possibilitando o desenvolvimento de espécies menos tolerantes a condições adversas (LAMB; TOMLINSON, 1993).

Nesse sentido, Caproni *et al.* (2005) identificaram SA relacionados à melhoria das condições do substrato decorrentes da revegetação de área degradada com a leguminosa exótica acácia (*Acacia mangium*) em uma área degradada por mineração. De fato, essa observação é coerente com o encontrado por Silva *et al.* (1994), onde o plantio de leguminosas em áreas degradadas provou aumentar o número de esporos e a diversidade de

espécies de fungos micorrízicos arbusculares, bem como o desenvolvimento de associações com fungos ectomicorrízicos, o que auxilia na melhoria das condições do substrato.

Além desses SA, apresentados no Quadro 1, diversos autores apontam o uso da acácia para superar os impasses ecológicos e econômicos da RAD, gerando outros SA. Como exemplo, nota-se o estudo de McNamara *et al.* (2006) que identificaram SA relacionados ao favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal e à provisão de produtos florestais por meio do plantio da espécie *Acacia auriculiformis*. Além disso, os autores apontaram que as técnicas de RAD que associam o emprego de espécies comerciais exóticas com o desenvolvimento da vegetação nativa são capazes de promover, ainda, SA relacionados à conservação da água, da biodiversidade e dos recursos naturais em geral. Jeddi e Chaieb (2012) identificaram SA relacionados à melhoria da biodiversidade, das condições do solo e do desenvolvimento da cobertura vegetal decorrentes da revegetação com a espécie *Acacia salicina*. No Quadro 2 também são apresentados os SA identificados nesses estudos.

Cabe ressaltar que, embora a implantação de monoculturas com espécies exóticas de rápido crescimento seja uma opção importante no que tange à RAD, essa técnica pode não ser capaz de atender a todas as demandas de planos voltados à geração de SA, como a proteção de cursos d'água e a conservação da biodiversidade (SAYER; CHOKKALINGAM; POULSON, 2004; KANOWSKI; CATTERALL; WARDELL-JOHNSON, 2005).

## Biorremediação

No caso da revegetação da área degradada, é importante salientar que o reafeiçoamento do terreno e o manejo do solo são etapas necessárias e indissociáveis a qualquer projeto de RAD em área mineradas. Desse modo, a descontaminação do solo e de recursos hídricos, representada preferencialmente pela biorremediação, é uma etapa que garante a estabilidade química da área a ser recuperada e antecede a revegetação.

O aumento das áreas contaminadas por compostos orgânicos tem levado à busca de medidas eficientes para sua descontaminação, observando-se fatores como custos, tempo e facilidade de execução da técnica (WAIHUNG; CHUA; LAM, 1999). Dentre essas medidas, merece destaque a biorremediação, que consiste no uso de plantas e microorganismos – a exemplo das bactérias e fungos – para degradação de materiais contaminantes presentes no solo ou na água subterrânea (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; PIRES *et al.*, 2003; SOUZA, 2007).

Ainda que a biorremediação não seja capaz de eliminar completamente os materiais contaminantes, a imobilização desses elementos é uma forma viável para descontaminação do solo e dos recursos hídricos, diminuindo com isso a possibilidade desses metais entrarem na cadeia alimentar (SPROCATI *et al.*, 2006).

A fitorremediação consiste em uma das estratégias de biorremediação que, de acordo com Soares e Casagrande (2007), envolve o emprego de vegetação e suas associações com a microbiota do solo, além de práticas de manejo. Em meio às simbioses entre bactérias e plantas, as rizobactérias constituem um grupo importante no que se refere à absorção e acumulação de metais (ROITMAN; TRAVASSOS; AZEVEDO, 1987;

MELO; AZEVEDO, 1998). O Quadro 2 apresenta os SA identificados nesses estudos atribuídos à biorremediação.

Especificamente na RAD por mineração, Souza (2007) e Pereira e Castro-Silva (2010) identificaram SA prestados pela biorremediação, relacionados à melhoria das condições do solo e da qualidade dos recursos hídricos. Pereira e Castro-Silva (2010) destacaram, ainda, SA relacionados ao favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal. Os SA identificados nesses estudos são apresentados no Quadro 1.

### *Sistemas e técnicas potenciais para RAD por mineração e SA associados*

Conforme o apresentado no Quadro 1, os estudos sobre o potencial da revegetação em áreas degradadas por mineração são insuficientes no que se refere à diversificação de modalidades de revegetação. Como exemplo, têm-se duas modalidades de revegetação para RAD, apresentadas no Quadro 2, que podem ser adaptadas e estudadas para o setor de mineração: revegetação para fins de manejo comunitário e a revegetação com sistemas agroflorestais (SAFs). A revegetação para fins de manejo comunitário se diferencia da revegetação convencional por levar em conta as necessidades e interesses da comunidade que atenderá – premissa para manejo comunitário de recursos naturais (BENATTI; McGRATH; OLIVEIRA, 2003). Dada à presença de árvores no sistema produtivo, os sistemas agroflorestais se destacam por sua dupla aptidão. A primeira, por gerar produtos e renda e a segunda pela prestação de serviços ambientais devido à cobertura vegetal e a manutenção das funções ecológicas (RIGHI, 2015). Procura-se desse modo obter, como resultado dessa associação, o melhor aproveitamento dos recursos naturais (BRIENZA JÚNIOR; VIEIRA; YARED, 1995).

Kobayashi (2004) e Nawir, Murniati e Rumboko (2007) destacam os SA gerados pela revegetação para fins de manejo comunitário, relacionados à restauração da produtividade das terras e à provisão de produtos madeireiros e não madeireiros, conforme apresentado no Quadro 2. Brienza Júnior, Vieira e Yared (1995), Amador (1999), Armando *et al.* (2002) e Fávero, Lovo e Mendonça (2008) destacam os SA, gerados por SAFs, relacionados à provisão de produtos agroflorestais. Fávero, Lovo e Mendonça (2008) e Jose (2009) destacam, ainda, SA relacionados à melhoria das condições do solo. Além desses SA, Jose (2009) ressalta aqueles relacionados ao aumento de estoques de carbono, à conservação da qualidade do ar e dos recursos hídricos e à conservação da biodiversidade. Wadt (2003) e Aerts e Honnay (2011) corroboram alguns dos SA identificados nesses artigos, explicando que florestas com diferentes espécies de árvores são geralmente mais produtivas e possuem maior capacidade de sequestrar carbono e melhorar os serviços de regulação, tais como os da qualidade da água e os de fluxos de nutrientes.

Além da revegetação, Coelho (2005) cita a bioengenharia de solos como técnica potencial para a RAD por mineração. A bioengenharia de solos ou engenharia natural se apresenta como uma alternativa tecnológica que emprega critérios ecológicos para solucionar problemas em áreas que sofrem processos erosivos naturais ou antrópicos. É uma tecnologia que consiste na conjugação de elementos vivos (planta ou partes destas) - raiz, caule, ramos - e elementos inertes - brita, cascalho, pedra, madeira, concreto. No caso

dos materiais vivos, os caules e raízes são usados como elementos estruturais e mecânicos para contenção, proteção e fortalecimento do solo (FERNANDES, 2004).

Segundo Pinto (2009), as técnicas de bioengenharia de solos se destacam na RAD por apresentar baixo custo de implantação, tendo em vista a preferência pela utilização de materiais locais, uso mínimo de equipamentos e movimentação da terra, mas permitindo sua execução em lugares de difícil acesso.

Pinheiro (1971), Coelho (2005), Galas (2006), Lemes (2001) e Holanda, Rocha e Oliveira (2008) citam SA associados a técnicas de bioengenharia de solos, relacionados à melhoria das condições do solo. Holanda, Rocha e Oliveira (2008) ressaltam, também, SA relacionados ao favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal, associados a técnicas de bioengenharia de solo. Os SA identificados nesses estudos também são apresentados no Quadro 2.

## Discussão

A análise dos Quadros 1 e 2 permite considerar que são identificados SA nas práticas de RAD aplicadas em mineração, conforme literatura recente. Os SA identificados estão relacionados à: melhoria das condições (físicas, químicas e biológicas) do solo/substrato; melhoria da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos; e favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal.

Esses SA não refletem todos aqueles que as técnicas de RAD aplicadas em mineração podem gerar. Isso se explica, em parte, porque perda de solo e cobertura vegetal, poluição e alteração na qualidade e quantidade dos recursos hídricos, correspondem invariavelmente aos principais impactos ambientais negativos mais reconhecidos da atividade mineradora. Assim, depreende-se porque os estudos sobre a RAD em mineração estejam voltados à recuperação das condições ambientais do solo, dos recursos hídricos e da cobertura vegetal.

Estudos sobre RAD em geral, não especificamente para o setor de mineração, identificam maior diversidade de SA associados às técnicas adotadas, como apresentado no Quadro 2, mas podem ser considerados como de potencial aplicação à RAD por mineração. Assim, além dos SA mais reconhecidos, tais estudos identificam SA relacionados à: restauração da produtividade das terras; favorecimento da biodiversidade; aumento dos estoques de carbono; e provisão de produtos madeireiros e não madeireiros.

A análise realizada nesta pesquisa ilustra que há oportunidades para iniciativas de RAD que ampliem a gama de SA associados, diversificando os SA a serem providos em projetos de RAD por mineração. Nesse sentido, as empresas mineradoras poderiam optar por recuperar suas áreas degradadas usando técnicas que maximizem os SA, atualmente, gerados inserindo-se em esquemas de PSA existentes ou pleiteando a criação de esquemas de PSA direcionados ao setor minerário.

De fato, Andrade e Romeiro (2013) indicam que uma etapa essencial à valoração de SE, segundo a abordagem da Economia Ecológica, é realizar uma avaliação ecossistêmica na qual se explicitem os SE resultantes das atividades humanas. Dessa forma, a identificação dos SA potencialmente associados às técnicas de RAD por mineração é um passo

inicial, porém fundamental, para sua inclusão em um PSA voltado ao setor. Dessa forma, evita-se que os SA gerados na RAD por mineração se tornem invisíveis, assim como o ressaltado por Eloy, Coudel e Toni (2013) para os SA gerados em práticas de manejo que promovem o uso sustentável. Esses autores explicam que, ao contrário das práticas que promovem o não uso (ex.: preservação de vegetação natural), mais facilmente relacionados à geração de SA, as práticas de manejo que promovem o uso sustentável necessitam de um monitoramento mais complexo para indicar os SA gerados. Daí a importância da identificação dos possíveis SA gerados pela RAD por mineração.

Embora a RAD seja uma obrigação legal do empreendedor, eventuais esquemas de PSA poderiam ampliar o potencial dessa etapa na promoção de SA. Incentivos econômicos podem impulsionar o uso de boas práticas, aumentando os benefícios ambientais auferidos em práticas de recuperação e conservação, como exemplo, tem-se o caso das reservas legais no Brasil, relatado por Oliveira e Bacha (2003). Segundo esses autores, em 1998, menos de 10% dos imóveis rurais registraram presença de reserva legal, sendo geralmente a porção destinada a essa finalidade inferior a 10% da área para cada propriedade. Esses autores concluíram, portanto, que dificilmente essa exigência legal será cumprida sem estímulos econômicos.

De fato, essa situação já se encontra refletida nos esquemas de PSA no Brasil, uma vez que alguns preveem a remuneração ou apoio à recuperação e conservação de áreas de preservação permanente e reservas legais – como no Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008) e no Programa Nacional de Recuperação e Conservação da Cobertura Vegetal (BRASIL, 2008) – e muitos consideram pagamento e/ou apoio à conservação de áreas de preservação permanente – como nos esquemas: Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (SÃO PAULO, 1993, 1997; NEVES NETO; HESPAHOL, 2009), Bolsa Verde (MINAS GERAIS, 2008), Programa de Remanescentes Florestais (SÃO PAULO, 2009, 2010), Programa Estadual de PSA (RIO DE JANEIRO, 2011).

Cabe ressaltar que tais esquemas de PSA complementam as ações obrigatórias de comando e controle para a conservação de áreas legalmente protegidas (SANTOS *et al.*, 2012), não sendo a única forma de fomentar boas práticas de recuperação ambiental, mas podendo ser um incentivo às mesmas.

Raciocínio similar poderia ser aplicado ao setor minerário no caso da RAD de modo a enfatizar o potencial de programas de Pagamento por Serviços Ambientais para o setor mineral brasileiro. Os achados de Teixeira (1992) e Bitar (1997) corroboram essa assertiva, ao constatarem que, apesar da RAD por mineração ser uma obrigação legal, esta nem sempre é cumprida. Conforme o observado por Jesus e Sánchez (2013), um plano de recuperação implementado segundo os critérios do órgão ambiental, muitas vezes não garante recuperação satisfatória.

Os esquemas de PSA voltados ao setor minerário podem incentivar as minerações a adotarem técnicas de recuperação mais benéficas ao meio ambiente e à população afetada pelas atividades minerárias. Esses esquemas tendem inclusive a melhorar a imagem do setor em relação aos impactos negativos gerados e valorizar sua responsabilidade social



destacada por Kapelus (2002), Jenkins (2004) e Jenkins e Yakovleva (2006) como um paradigma a ser alcançado pelo setor.

Nesse sentido, os resultados da pesquisa indicam que os SA potencialmente associados à RAD por mineração seguem as tendências dos SA contemplados nos esquemas de PSA vigentes e em fase de proposição no Brasil, reforçando que há oportunidade para inserção do setor minerário no contexto de PSA do país.

Embora ainda seja necessário identificar a diversidade de SA associados à RAD por mineração, pode-se considerar que a implantação de PSA que abranja as atividades do setor seria uma forma de ampliar o foco reducionista descrito por Balvanera *et al.* (2012) acerca da predominância dos serviços voltados à oferta de água e mitigação de carbono e preencheria os requisitos estabelecidos por Wunder (2015) sobre as expectativas de um PSA.

## Conclusões

Existe, atualmente, no Brasil, um cenário potencial de oferta diversificada de SA na fase de recuperação de empreendimentos minerários. Os resultados dessa análise permitem demonstrar que: i) as práticas convencionais de RAD – revegetação com plantas nativas, revegetação com plantas exóticas e biorremediação - usadas pelo setor de mineração agregam potenciais SA; ii) outras práticas não usualmente adotadas pelo setor poderiam ser adotadas com potencial agregação de relevantes SA – como revegetação para fins de manejo florestal comunitário, revegetação com sistemas agroflorestais e bioengenharia de solos; iii) o diagnóstico do potencial de oferta diversificada de SA permite conjecturar que talvez seja factível propostas de implantação de esquemas de PSA para o setor minerário brasileiro. Outra maneira seria a inserção dessas ações em programas já existentes, visto que há esquemas de PSA que remuneram SA potenciais e identificados também em RAD por mineração. Devem-se destacar principalmente aqueles esquemas que consideram SA relacionados à conservação do solo e da água, conservação da biodiversidade, aumento de estoques de carbono e conservação dos recursos naturais.

De qualquer modo, para que um eventual PSA associados ao setor minerário se torne realidade, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados a:

- diversificar as técnicas de recuperação de áreas degradadas por mineração, com base em técnicas usadas para recuperação de áreas degradadas em geral (não limitadas a mineração);
- avaliar áreas de recuperação de áreas degradadas por mineração usando tais técnicas para verificar quais SA são gerados na prática e para quais contextos eles são mais adequados, com vistas a confirmar o potencial de geração de SA de diversas técnicas para a recuperação de áreas degradadas por mineração;
- aprofundar os conhecimentos sobre os SA relacionados à conservação do solo e da água, conservação da biodiversidade, aumento de estoques de carbono, conservação dos recursos naturais, restauração da produtividade das terras e à provisão de produtores madeireiros e não madeireiros – SA potencialmente

- associados à RAD por mineração; desenvolver critérios para o desenho de um esquema específico de Pagamentos por Serviços Ambientais para o setor mine-rário, considerando as características da atividade no Brasil;
- desenvolver um mecanismo para identificação, monitoramento e avaliação de SA gerados pelas diversas técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas em diferentes contextos minerários do país.

## Referências Bibliográficas

- ACCIOLY, A. M.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; AVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. pp. 299-352.
- ACRE (Estado). Lei estadual nº 2.025 de 20 de outubro de 2008. **Cria o Programa Estadual de Certificação de Unidades produtivas Familiares do Estado do Acre**. 2008.
- ACRE (Estado). Lei nº 2.308, de 22 de outubro de 2010. **Cria o Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais- SISA, o Programa de Incentivos por Serviços Ambientais - ISA Carbono e demais Programas de Serviços Ambientais e Produtos Ecosistêmicos do Estado do Acre e dá outras providências**. 2010.
- AERTS, R.; HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, v. 11, pp. 2-10, 2011.
- ALGUACIL, M. M. et al. Plant type differently promote the arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity in the rhizosphere after revegetation of a degraded, semiarid land. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 1, pp. 167-173, Jan. 2011.
- ALMEIDA, M. R.; LIMA, H. M. Garantia financeira para fins de fechamento de mina e o seu impacto na viabilidade de uma mina: estudo de caso de uma mina de grande porte. **Revista da Escola de Minas**, v. 61, n. 2, pp. 203-209, 2008.
- ALMEIDA, R. O. P. O. **Indicadores de qualidade de substrato para monitoramento de áreas revegetadas**: estudo dirigido à mineração de areia. 2010. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- AMADOR, B. D. **Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais**. Piracicaba: Embrapa, 1999.
- AMAZONAS (Estado). **Decreto n.º 26.958 de 04 de setembro de 2007. Institui o Programa bolsa Floresta do Governo do Estado do Amazonas, na forma que especifica, e da outras providências**. 2007.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Valoração de Serviços Ecosistêmicos: por que e como avançar? **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p. 43-58, jan./jun. 2013.
- ARMANDO, S. M. *et al.* **Agrofloresta para agricultura familiar**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. (Circular Técnica).

ASHTON, M. et al. Restoration pathways for rain forest in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models. **Forest Ecology and Management**, v. 524, n. 3, pp. 409-430, Dec. 2001.

AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Relatório-Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio**. [S.l.]: AEM, 2005.

BALVANERA, P. et al. Ecosystem services research in Latin America: the state of the art. **Ecosystem Services**, v. 2, pp. 56-70, 2012.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2007. 223 p.

BENATTI, J. H.; McGRATH, D. G.; OLIVEIRA, A. C. M. Políticas públicas e manejo comunitário de recursos naturais na Amazônia. **Ambiente e Sociedade**, v. 6, n. 2, pp. 137-154, 2003.

BIAN, Z.; LU, Q. Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: a case study in Jiawang. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, n. 6, pp. 1619-1630, 2013.

BITAR, O. Y. **Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988: Artigo 225**. Brasília: Presidência da República, 1988. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 17 set. 2013.

BRASIL. Decreto nº 7.343, de 26 de outubro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima - FNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 out. 2010.

BRASIL. Decreto nº 7.572, de 28 de setembro de 2011. Regulamenta dispositivos da Medida Provisória nº 535, de 2 de junho de 2011, que tratam do Programa de Apoio à Conservação Ambiental - Programa Bolsa Verde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 set. 2011b.

BRASIL. Decreto nº 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 abr. 1989. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 17 set. 2013.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 212 de 2011**. Institui o sistema nacional de redução de emissões por desmatamento e degradação, conservação, manejo florestal sustentável, manutenção e aumento dos estoques de carbono florestal (REDD+), e dá outras providências. Brasília: Senado, 2011a.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 3.134 de 2008**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Recuperação e Conservação da Cobertura Vegetal (PNCC), e dá outras providências. Brasília: Senado, 2008.

- BRASIL. **Projeto de Lei nº 792, de 2007**. Dispõe sobre a definição de Serviços Ambientais e dá outras providências. Brasília: Senado, 2007.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; VIEIRA, I. C. G.; YARED, J. A. G. **Considerações sobre a recuperação de áreas alteradas por atividades agropecuária e florestal na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa-CPATU, 1995. (Documentos 83).
- CABRAL JUNIOR, M. et al. A mineração no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. **Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 171-192, 2008.
- CAPRONI, A. L. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, pp. 373-381, 2005.
- CARNEVALE, N.; MONTAGNINI, F. Facilitating regeneration of secondary forests with the use of mixed and pure plantations of indigenous tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 163, pp. 217-227, 2002.
- CHOMITZ, K. M.; BRENES, E.; CONSTANTINO, L. Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. **Science of the Total Environment**, v. 240, n. 1, pp. 157-169, 1999.
- COELHO, A. T. Efeitos da vegetação na estabilidade do solo e de taludes. In: **XIII Curso sobre erosão e controle de sedimentos**. Belo Horizonte: [s.n.], 2005.
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystems services and natural capital. **Nature**, v. 387, pp. 253-260, 1997.
- CUSACK, D.; MONTAGNINI, F. The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 188, n. 1-3, pp. 1-15, Feb. 2004.
- DAMIGOS, D. et al. Rethinking impact assessment of mining projects in the context of ecosystem services. In: **INTERNATIONAL MINING CONGRESS OF TURKEY, 24., 2015**, Antalya. **Proceedings...** [S.l.]: Chamber of Mining Engineers of Turkey, 2015. p. 53-64.
- DÉMURGER, S.; PELLETIER, A. Volunteer and satisfied? Rural households' participation in a payments for environmental services programme in Inner Mongolia. **Ecological Economics**, v. 116, pp. 25-33, 2015.
- DERISSEN, S.; LATA CZ-LOHMANN, U. What are PES? A review of definitions and an extension. **Ecosystem Services**, v. 6, p. 12-15, 2013.
- ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, pp. 21-42, jul./dez. 2013.
- ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, pp. 663-674, 2008.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Lei nº 9864 de 26 de junho de 2012. **Dispõe sobre a reformulação do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA no Estado, instituído pela Lei nº 8.995, de 22.09.2008, e dá outras providências.** 2012.

EVANS, D. M. et al. Reforestation practice for enhancement of ecosystem services on a compacted surface mine: path toward ecosystem recovery. **Ecological Engineering**, v. 51, pp. 16-23, Feb. 2013.

EXTREMA. Lei nº 2100 de 21 de dezembro de 2005. **Cria o Projeto Conservador das Águas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais e dá outras providências.** 2005.

FARLEY, J.; COSTANZA, R. Payments for ecosystem services: from local to global. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, pp. 2060-2068, 2010.

FÁVERO, C.; LOVO, C. I.; MENDONÇA, S. E. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

FERNANDES, S. F. **Avaliação de mantas comerciais na vegetação de taludes em corte de estrada.** 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Viçosa, 2004.

GALAS, N. D. **Uso da vegetação para contenção e combate à erosão em taludes.** 2006. Trabalho de Conclusão (Curso em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://engenharia.anhembib.com.br/tcc-06/civil-55.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2013.

GRUBB, P. J. Mineral nutrients and soil fertility in tropical rainforests. In: LUGO, A. E.; LOWE, C. (Eds.). **Tropical forests: management and ecology.** New York: Springer, 1995. pp. 308–330.

GUARIGUATA, M.; RHEINGANS, R.; MONTAGNINI, F. Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. **Restoration Ecology**, v. 3, n. 4, pp. 52–260, 1995.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

GUERRERO, E.; RIVILLAS, C.; RIVERA, E. L. **Perspectivas de manejo de la micorriza arbusculares en ecosistemas tropicales.** Bogotá: Fondo Fen Colombia, 1996. pp. 181-206.

HAGGAR, J.; WIGHTMAN, K.; FISHER, R. The potential of plantations to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 99, pp. 55–64, 1997.

HERRMANN, H. Legislação mineral, ambiental e tributária. In: TANNÚS, M. B.; CARMO, J. C. C. (Coords.). **Agregados para a construção civil no Brasil.** Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2007.

HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 6, pp. 570-575, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela mineração**. Brasília: IBAMA, 1990.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mineração & município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo: IPT, 2003.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **Performance standards on environmental and social sustainability**. Washigton. D.C. IFC: 2012.

JEDDI, K.; CHAIEB, M. Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. **Flora**, v. 207, pp. 693-700, 2012.

JENKINS, H. Corporate social responsibility and the mining industry: conflicts and constructs. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 11, n. 1, pp. 23-34, 2004.

JENKINS, H.; YAKOVLEVA, N. Corporate social responsibility in the mining industry: exploring trends in social and environmental disclosure. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 3, pp. 271-284, 2006.

JESUS, C. K. C.; SÁNCHEZ, L. E. The long post-closure period of a kaolin mine. **Revista da Escola de Minas**, v. 66, n. 3, pp. 363-368, jul./set. 2013.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforest Systems**, v. 76, pp. 1-10, 2009.

KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. P.; WARDELL-JOHNSON, G. W. Consequences of broadscale timber plantations for biodiversity in cleared rainforest landscapes of tropical and subtropical Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 208, pp. 359-372, 2005.

KAPELUS, P. Mining, corporate social responsibility and the "community": The case of Rio Tinto, Richards Bay minerals and the Mbonambi. **Journal of Business Ethics**, v. 39, n. 3, pp. 275-296, 2002.

KEENAN, R. et al. Ecosystem management in tropical timber plantations: satisfying economic, conservation, and social objectives. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 9, n. 1-2, pp. 117-134, 1999.

KEENAN, R. et al. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in northern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 99, pp. 117-131, 1997.

KNAPIK, P.; MARANHÃO, L. T. Avaliação da revegetação em área de mineração, região de inundação do Rio Iguazu, Araucária, PR. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, pp. 507-509, jul. 2007.

KOBAYASHI, S. Landscape rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems Case study of the CIFOR/Japan project in Indonesia and Peru. **Forest Ecology and Management**, v. 201, pp. 13-22, 2004.

KROEGER, T. The quest for the “optimal” payment for environmental services program: ambition meets reality, with useful lessons. **Forest Policy and Economics**, v. 37, pp. 65-74, 2013.

KUUSIPALO, J. et al. Restoration of natural vegetation in degraded *Imperata cylindrica* grassland: understory development in forest plantations. **Journal of Vegetation Science**, v. 6, n. 2, pp. 205–210, Apr. 1995.

LAMB, D.; TOMLINSON, M. Forest rehabilitation in the Asia-Pacific Region: past lessons and future uncertainties. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 7, n. 1, pp. 157–170, 1993.

LEGRAND, T.; FROGER, G.; LE COQ, J. Institutional performance of Payments for Environmental Services: an analysis of the Costa Rican Program. **Forest Policy and Economics**, 37, pp. 115–123, 2013.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LUGO, A. E. The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1-2, pp. 9–19, Dec. 1997.

MACEDO, M. O. et al. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v. 225, n. 5-6, pp. 1516-1524, Apr. 2008.

MARTINS, G.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MATTHIES, B. D. et al. Risk, reward, and payments for ecosystem services: A portfolio approach to ecosystem services and forestland investment. **Ecosystem Services**, v. 16, p. 1–12, 2015.

McNAMARA, S. M. et al. Rehabilitating degraded forest land in central Vietnam with mixed native species plantings. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2-3, p. 358-365, Sept. 2006.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, pp. 209-220, 2010.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. 488 p.

MINAS GERAIS (Estado). Lei nº 17.727, de 13 de agosto de 2008. Dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de

Bolsa Verde, para os fins que especifica, e altera as Leis nºs 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, 14 ago. 2009.

MONTAGNINI, F. Strategies for the recovery of biodiversity in deforested landscapes. In: KRISHNAPULLAY, B. et al. (Eds.). **Forests and Society: The Role of Research**. IUFRO World Congress, August 6–12, 2000. Subplenary Sessions. Kuala Lumpur, Malaysia: International Union of Forestry Research Organizations, 2000. v. 1, pp. 310–319.

MORAES, A. L. J. Pagamento por Serviços Ambientais como instrumento de política de desenvolvimento sustentável dos territórios rurais: o projeto protetor das águas de Vera Cruz, RS. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, pp. 43-56, jan./jun. 2012.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a Recuperação de Áreas Degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 155 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2004.

MURADIAN, R. *et al.* Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, pp. 1202-1208, 2010.

NAWIR, A. A.; MURNIATI; RUMBOKO, L. (Ed.). **Forest rehabilitation in Indonesia: where to after more than three decades?** Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 2007.

NERI, A. C.; SÁNCHEZ, L. E. A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. **Journal of Environmental Management**, v. 91, pp. 2225-2237, 2010.

NEVES NETO, C. C.; HESPANHOL, A. N. O programa estadual de microbacias hidrográficas no estado de São Paulo: a análise da microbacia da água das Antas/Pinheiro no município de Assis/SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRARIA, 19., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FFLCH-USP, 2009.

NEWSHAM, K. K.; FITTER, A. H.; WATKINSON, A. R. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizae. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 10, pp. 407-411, 1995.

NUNES, P. H. F. **Mineração & meio ambiente: o desenvolvimento sustentável**. Curitiba: Jurua, 2006. 241 p.

OLIVEIRA NETO, R.; PETTER, C. O. A abordagem da economia ambiental no contexto da mineração. **Revista da Escola de Minas**, v. 58, n. 1, pp. 71-75, 2005.

OLIVEIRA, L. R.; ALTAFIN, I. G. PROAMBIENTE: uma política de Pagamento de Serviços Ambientais no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Apresentação oral...** Brasília: Sober, 2008.



OLIVEIRA, S. J. M.; BACHA, C. J. C. Avaliação do cumprimento da reserva legal no Brasil. **Revista de Economia e Agronegócios**, v. 1, n. 2, pp. 177-203, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Ecosystem services and biodiversity (ESB)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/en/>>. Acesso em: 07 out. 2015.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://fas-amazonas.org/versao/2012/wordpress/wpcontent/uploads/2014/02/LivroPSA.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2015.

PARANÁ (Estado). Lei nº 17134, de 25 de abril de 2012. Institui o Pagamento por Serviços Ambientais, em especial os prestados pela Conservação da Biodiversidade, integrante do Programa Bioclima Paraná, bem como dispõe sobre o Biocrédito. **Diário Oficial do Estado**, Curitiba, n. 8700, 25 abr. 2012.

PARROTTA, J. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture. Ecosystems Environment**, v. 41, n. 2, p. 115-133, July 1992.

PARROTTA, J.; TURNBULL, J.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1-2, pp. 1-7, Dec. 1997.

PASCUAL, U. et al. Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: a conceptual approach. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, pp. 1237-1244, 2010.

PEREIRA, B. A.; CASTRO-SILVA, M. A. Rizobactérias formadoras de endósporos associadas à *Tibouchina urvilleana* de áreas impactadas por rejeitos da mineração do carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 34, n. 2, p. 563-567, 2010.

PINHEIRO, D. J. **Evolução das encostas nas regiões tropicais úmidas**. Salvador: UFBA, 1971. 29 p.

PINTO, G. M. **Bioengenharia de solos na estabilidade de taludes: comparação com uma solução tradicional**. 2009. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, pp. 335-341, maio/ago. 2003.

PORTO, M. F.; MILANEZ, B. Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, pp. 1983-1994, 2009.

POWERS, J. S.; HAGGAR, J. P.; FISHER, R. F. The effect of overstorey composition on understorey woody regeneration and species richness in seven year old plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1-2, pp. 43-54, Dec. 1997.

PRNO, J.; SLOCOMBE, D. S. Exploring the origins of 'social license to operate' in the mining sector: perspectives from governance and sustainability theories. **Resources Policy**, v. 37, n. 3, pp. 346-357, 2012.

REGENSBURGER, B. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila através da regularização topográfica, da adição de insumos e serrapilheira e de atratores da fauna**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

RIGHI, C. A. Sistemas Agroflorestais: definição e perspectivas. In: Ciro A. Righi; Marcos S. Bernardes (Eds.). **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais. (Série Difusão)** 1º ed. Piracicaba, SP. 2015. vol. 1. pp. 1-5.

RIO DE JANEIRO (Estado). Decreto nº 42.029 de 15 de junho de 2011. Regulamenta o Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos - PROHIDRO, previsto nos artigos 5º e 11 da lei nº 3.239, de 02 de agosto de 1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Rio de Janeiro, 16 jun. 2011.

RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; BARROS, L. C. Tropical rain forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 323-333, 2004.

ROITMAN, I.; TRAVASSOS, L. R.; AZEVEDO, J. L. **Tratado de microbiologia**. São Paulo: Manole, 1987.

ROMEIRO, A. R. Economia e biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 2, n. 1-2, dez., 2006.

ROSA, J. C. S.; SÁNCHEZ, L. E. Is the ecosystem service concept improving impact assessment? Evidence from recent international practice. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 50, pp. 134-142, 2015.

RUIZ, M. S. et al. Abordagens de conflitos socioambientais em casos de subsidiência de minas de carvão no Brasil e EUA. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, pp. 129-156, 2014.

SÁNCHEZ, L. E. Planejamento para o fechamento prematuro de Minas. **Revista Escola de Minas**, v. 64, pp. 117-124, 2011.

SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 15.133, de 19 de janeiro de 2010. Institui a Política Estadual de Serviços Ambientais e regulamenta o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de Santa Catarina, instituído pela Lei nº 14.675, de 2009, e estabelece outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Florianópolis, n. 18.770, 2010.

SANTO, E. L.; SÁNCHEZ, L. E. GIS applied to determine environmental impact indicators made by sand mining in a floodplain in southeastern Brazil. **Environmental Geology**, v. 41, n. 6, pp. 628-637, Feb. 2002.

SANTOS, P. et al. **Marco regulatório sobre Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil**. Belém: IMAZON, FGV, CVces, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 41.990, de 23 de julho de 1997. Organiza o Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas – PEMH e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 24 jul. 1997.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 55.947, de 24 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 25 jun. 2010.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 13.798, de 09 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, v. 119, n. 209, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 8.421, de 23 de novembro de 1993. Altera a redação de dispositivos da Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 24 nov. 1993.

SAYER, J.; CHOKKALINGAM, U.; POULSON, J. The restoration of forest biodiversity and ecological values. **Forest Ecology and Management**, v. 201, n. 1, p. 3–11, Nov. 2004.

SCHOMERS, S.; MATZDORF, B. Payments for ecosystem services: A review and comparison of developing and industrialized countries. **Ecosystem Services**, 6, pp. 16-30, 2013.

SILVA, E. M. R. *et al.* Fungos micorrízicos em leguminosas arbóreas revegetando solos degradados. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 5, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: EDEME, 1994. p. 25.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C. Fitorremediação como estratégia de recuperação de solos degradados em áreas mineradas. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JÚNIOR, N. A. **A Botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais**. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 2007. Cap. 40, p. 529-533.

SOUZA, E. A. **Potencial de cianobactérias para a biorremediação de águas e solos contaminados por arsênio**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

SPROCATI, A. *et al.* Investigating heavy metals resistance, bioaccumulation and metabolic profile of a metallophile microbial consortium native to an abandoned mine. **Science of the Total Environment**, v. 366, n. 2-3, pp. 649–658, Aug. 2006.

TEIXEIRA, J. A. G. Impactos ambientais da atividade mineral na RMSF. In: SEMINÁRIO SOBRE PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Abas/ABGE/SBG-SP, 1992. p. 63-75.

WADT, P. G. S. **Práticas de conservação do solo e Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. (Documentos 90).

WAIHUNG, L.; CHUA, H.; LAM, K. H. A comparative investigation on the biosorption of lead by filamentous fungal biomass. **Chemosphere**, v. 39, n. 15, p. 2723-2736, 1999.

WUNDER, S. (Coord.) *et al.* **Pagamento por Serviços Ambientais**: perspectivas para Amazônia Legal. Brasília: MMA, 2009. 144 p. (Série Estudos, 10).

WUNDER, S. **Payments for environmental services**: some nuts and bolts. Bogor: Cifor, 2005. (Cifor Occasional paper n. 42).

WUNDER, S. Revisiting the concept of payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 117, pp. 234–243, 2015.

Submetido em: 13/05/2014

Aceito em: 02/02/2016

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC129835V1922016>

# SERVIÇOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: POTENCIAL PARA PAGAMENTO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

---

CAROLINE ALMEIDA SOUZA  
AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO  
ÉRICA DONAIRE DA SILVA  
YOHANA CUNHA DE MELLO  
CIRO ABBUD RIGHI  
MARIA LUCIA SOLERA

**Resumo:** O artigo discute o potencial de associação de Serviços Ambientais (SA) a técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) por mineração, à luz da tendência atual de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), no Brasil. A partir de revisão bibliográfica e análise de conteúdo, os resultados indicam que há: identificação de alguns SA para RAD por mineração – como os relacionados à melhoria do solo, potencial para agregação de outros – como os associados ao aumento dos estoques de carbono e esquemas de PSA que remuneram os SA também identificados em RAD por mineração – como os relativos à conservação do solo e da água. Conclui-se que existe um cenário potencial de oferta diversificada de SA na fase de recuperação de empreendimentos minerários – primeiro passo para ensejar sua participação em esquemas de PSA. Estudos complementares são necessários para desenvolver critérios para um provável esquema de PSA específico para o setor minerário.

**Palavras-chave:** Serviços ambientais; Recuperação de áreas degradadas; Mineração; Pagamento por Serviços Ambientais.

**Abstract:** This paper discusses the potential of associating environmental services (ES) with techniques for reclaiming degraded areas (RDA) used in the mining sector, considering the current trends in payments for environmental services (PES) in Brazil. A literature review with content analysis generated results which identified the ES generated for eight cases of RDA in mining. As an example, ES related to soil enhancement were found. A more extended review of general RDA techniques confirmed the potential for associating other ES to RDA techniques used in mining, an example here is the enhancement of carbon stocks. Support for actions could come from existing PES schemes, particularly for cases

where the ES identified as associated with an RDA technique are related to soil and water conservation. Concluding remarks indicate that there is a potential scenario for ES diversification in the reclamation stage of mining operations. A first step towards accomplishing this diversification envisages the creation of a PES scheme specific to the mining sector. Further studies are needed to develop criteria for fostering a PES scheme specifically for the reclamation phase of mining operations in Brazil.

**Keywords:** Environmental services; Recovery of degraded areas; Mining; Payment for environmental services.

**Resumen:** Este artículo discute el potencial de asociación de los servicios ambientales (SA) y las técnicas de recuperación de áreas degradadas (RAD) por minerías, considerando la tendencia actual de pagos por los servicios ambientales (PSA) en Brasil. A partir de la literatura y del análisis de contenido, los resultados indican que existe: identificación de algunos SA para la RAD por minerías – como los relacionados con el mejoramiento del suelo; potencial para agregar otros SA a la RAD por minerías – como los relacionados con el aumento de las reservas de carbono y esquemas de PSA que remuneran los SA también identificados en RAD por minerías – como los relativos a la conservación del suelo y el agua. La conclusión de la investigación es que existe potencial para una oferta diversificada de servicios ambientales en la fase de recuperación de minerías – primer paso para plantear un esquema de pagos por servicios ambientales. Sin embargo, son necesarios más estudios para desarrollar criterios para un probable esquema de PSA para el sector de minería brasileño.

**Palabras-clave:** Servicios ambientales; Recuperación de áreas degradadas; Minerías; Pagos por servicios ambientales.

---