

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

**FITORREMEDIAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA
BRASILEIRA NO CONTEXTO NACIONAL E
INTERNACIONAL**

Autora: Ísis Danielle Sousa
Orientador: Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza

RIO VERDE - GO
ABRIL - 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

**FITORREMEDIAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA
BRASILEIRA NO CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL**

Autora: Ísis Danielle Sousa
Orientador: Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Bioprospecção aplicada à conservação.

RIO VERDE - GO
ABRIL – 2018

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS0725 f Sousa, Ísis Danielle
Fitorremediação: contribuição científica brasileira
no contexto Nacional e Internacional / Ísis Danielle
Sousa; orientador Lucas Anjos de Souza; co-
orientadora Paula Fabiane Martins. -- Rio Verde,
2018.
52 p.

Dissertação (Graduação em Pós-Graduação em
Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal
Goiano, Câmpus Rio Verde, 2018.

1. Cerrado. 2. Biorremediação. 3. Banco de dados.
4. Metais pesados. 5. Periódicos. I. Souza, Lucas
Anjos de , orient. II. Martins, Paula Fabiane , co-
orient. III. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO**

**FITORREMEDIAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO
CIENTÍFICA BRASILEIRA NO CONTEXTO
NACIONAL E INTERNACIONAL**

Autora: Ísis Danielle Sousa
Orientador: Lucas Anjos de Souza

TITULAÇÃO: Mestre em Biodiversidade e Conservação – Área de
concentração Conservação dos Recursos Naturais.

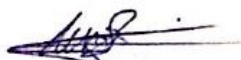
APROVADA em 22 de fevereiro de 2018.



Prof^ª. Dr^ª. Gisele Cristina de
Oliveira Menino
Avaliadora externa
IF Goiano/RV



Prof. Dr. Fabio Henrique Dyszy
Avaliador interno
IF Goiano/RV



Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza
Presidente da banca
IF Goiano/RV

A minha irmã Jackellyne Bruna Sousa,
A minha avó Divina da Silva Gonçalves,
Ao meu noivo Gustavo Pereira de Sousa.

OFEREÇO

Aos meus pais Maria Dalva Silva e Sousa e Adair Fonseca de Sousa.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai Misericordioso que eternamente será meu maior aliado e benfeitor. Guiou-me nessa trajetória, que foi árdua. Agradeço por ser meu guia, meu educador e por conduzir meus passos quando achei que não seria mais possível caminhar.

Meus queridos pais, Adair Fonseca de Sousa e Maria Dalva Silva e Sousa, que me conduziram desde sempre a este caminho, me apoiaram e ficaram ao meu lado quando muito hesitei. Vocês são as pessoas que inspiram meu crescimento, são minha base e meu acalento. Vocês foram indispensáveis na minha formação acadêmica, pelo apoio e educação passados.

A minha irmã, Jackellyne Bruna Sousa, que, apesar da falta constante que me faz, esteve comigo, me foi confidente, leal e amiga. Ela é essencial ao meu crescimento. Minha avó, Divina da Silva Gonçalves, quem sempre acreditou e me deu forças para chegar até aqui. Ao meu eterno companheiro Gustavo Pereira de Sousa, que acredita que sou capaz de me superar sempre.

Aos meus amigos da empresa que trabalho, Célio, Jailton, Lohane, Lucas, Rafael, Dierys e Joelson, que me ouviram insistentemente argumentar o quão difícil estava sendo, e, ao mesmo tempo, me amparando e aconselhando a continuar. Vocês foram importantes nessa trajetória. Um agradecimento especial ao meu líder Ruy César Marques de Vasconcelos, que sempre tem paciência e sabe me passar todo o conhecimento que necessito para minha formação. Ele me apoiou e me incentivou nessa jornada de trabalho e estudos.

Ao meu orientador Lucas Anjos de Souza que me ensinou a ser profissional e me guiou nesta conquista.

A todos vocês eu agradeço com carinho a contribuição direta e indiretamente na concretização deste trabalho tão importante em minha vida!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Ísis Danielle Sousa, nascida em Arenópolis-Goiás em 29 de abril de 1993. Concluiu a sexta série do ensino fundamental no Colégio Estadual Alfredo Nasser na cidade que cresceu com seus pais. No ano de 2006 mudou-se com sua irmã mais velha Jackellyne Bruna Sousa para Iporá - Goiás, no Colégio Integração, colégio que finalizou o ensino fundamental. No ano de 2009, mudou-se para Rio Verde – Goiás, para acompanhar os estudos de sua irmã, concluindo em 2010 o ensino médio.

Em 2011 foi aprovada no curso superior em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Goiano na cidade de Rio Verde - Goiás, concluindo o mesmo em 2015. Em 2014 foi selecionada para trabalhar em uma multinacional, a qual faz parte até o momento. Dois anos após ingressou pela mesma faculdade de ensino no programa de pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Biodiversidade e Conservação, com linha de pesquisa: Bioprospecção aplicada à conservação.

No ano de 2018 defendeu sua dissertação de Mestrado, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	12
OBJETIVOS	19
1. GERAL.....	19
2. ESPECÍFICOS	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
1.1 INTRODUÇÃO	25
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	26
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
1.4 CONCLUSÕES	45
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ÍNDICE DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1 - Tecnologias de remediação.....	15
Tabela 2 - Revistas classificadas quanto ao Qualis Capes e Fator de Impacto, sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade de trabalhos com compostos orgânicos e inorgânicos, por classificação B2, B3, B4, B5 e que não foram segregadas (X).....	31
Tabela 3 - Classificação das revistas que publicaram sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, com o Fator de Impacto e Qualis Capes, segregando os trabalhos com compostos orgânicos e inorgânicos.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.	29
Figura 2. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação por revista, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.....	30
Figura 3. Tendência temporal de publicações sobre Fitorremediação, publicados entre 2000 a 2016 no Brasil de acordo com base de dados Scielo..	32
Figura 4. Tendência temporal de publicações relacionando as vertentes orgânicas e inorgânicas da Fitorremediação no Brasil, entre 2000 e 2016, de acordo com base de dados Scielo.	32
Figura 5. Trabalhos publicados com grupos estudados com compostos inorgânicos com segregação das espécies encontradas de acordo com a tolerância à metais tóxicos, na base de dados Scielo, entre os anos de 2000 a 2016.....	33
Figura 6. Quantidade de ocorrências das espécies encontradas nos trabalhos estudados, na base de dados Scielo, de acordo com bioma predominante á tolerância de metais tóxicos, segregados de publicações com compostos inorgânicos de acordo com o hábito de crescimento, entre os anos de 2000 a 2016.....	34
Figura 7. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações ao período, de 2000 a 2016..	37
Figura 8. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações às áreas do conhecimento em que foram publicadas, de 2000 a 2016.....	38

Figura 9. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações aos países que publicaram, de 2000 a 2016.	39
Figura 10. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade de publicações de trabalhos brasileiros às revistas que publicaram, de 2000 a 2016.....	40
Figura 11. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade de publicações de trabalhos brasileiros ao ano de publicação, de 2000 a 2016.....	40
Figura 12. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, de estudos de autores brasileiros, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.....	41
Figura 13. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, por revista, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.....	42
Figura 14. Tendência temporal de estudos científicos sobre Fitorremediação, relacionando os trabalhos publicados no mundo, no Brasil (SciELO) e de brasileiros que publicaram na base de dados mundial (Scopus) no período entre 2000 a 2016.	43
Figura 15. Contribuição brasileira frente a base de dados internacional sobre Fitorremediação, relacionando os trabalhos publicados no mundo (Scopus) e no Brasil (SciELO) publicados entre 2000 a 2016.....	45
Figura 16. Distribuição geográfica dos estudos realizados sobre Fitorremediação em aspectos globais (n = 7808)..	45

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<i>Símbolo / Sigla</i>	<i>Significado</i>
<i>Au</i>	Ouro
<i>Cd</i>	Cádmio
CETESB/GTZ	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<i>Co</i>	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>Cr</i>	Cromo
<i>Cu</i>	Cobre
EEA	European Environment Agency
EUA	Estados Unidos da América
Hg	Mercúrio
MMA	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
Mn	Manganês
<i>N</i>	Número de amostras
<i>Ni</i>	Níquel
<i>P</i>	Incógnita do nível descritivo ou probabilidade de significância
Pb	Chumbo
R	Coefficiente de determinação
Scielo	Scientific Electronic Library Online
Tl	Tálio
USEPA	United States Environmental Protection Agency
Zn	Zinco

RESUMO

SOUSA, ÍSIS DANIELLE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2018. Orientador: Dr. Lucas Anjos de Souza. Coorientadora: Paula Fabiane Martins.

RESUMO – A preservação dos solos vivos é determinante para sobrevivência dos seres humanos, pois a biodiversidade do solo, com sua complexidade, não só favorece controle de doenças, mas também influencia a quantidade e a qualidade dos alimentos que se consome, o ar que se respira e a água que se bebe. A provisão de longo prazo desses benefícios depende do uso cuidadoso e sustentável dos solos como recurso natural valioso. Contudo, a biodiversidade do solo geralmente está sendo indiretamente afetada por mudanças globais provocadas pelo homem. Atualmente, após práticas incorretas na sua utilização, surgem sinais de alerta de contaminação. Há muito tempo, as perdas diretas de biodiversidade, funções e outros atributos de ecossistemas resultam de um desequilíbrio entre a validade do projeto e os tempos de recuperação reais para a biodiversidade e a funcionalidade. A natureza perigosa dos resíduos pode ser atenuada pela aplicação de métodos convencionais de descontaminação, como é o caso da incineração, compostagem e do *Landfilling*. Assim, uma alternativa viável e promissora para o tratamento de solos contaminados é a aplicação de técnicas biológicas que têm como objetivo principal a estimulação do crescimento dos microrganismos usando os contaminantes como fonte de energia e alimento, criando um ambiente propício para tal. É o caso da Fitorremediação, técnica que utiliza plantas e micróbios de solo associados para reduzir as concentrações ou efeitos tóxicos de contaminantes nos ambientes. Retratando um cenário como o do Brasil, detentor de uma das maiores riquezas naturais do planeta, não se pode nos orgulhar de uma bioeconomia vigorosa e baseada em inovações a partir da sua rica biodiversidade. Nos últimos 15 anos, muitas discussões foram levantadas, tanto do lado acadêmico quanto empresarial, convergindo a um mesmo consenso: há um atraso em inovações a partir de produtos naturais e derivados oriundos da nossa rica biodiversidade.

Palavras-chave: contaminação, bioeconomia, biorremediação, meio ambiente.

ABSTRACT

SOUSA, ÍSIS DANIELLE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2018. **Phytoremediation: brazilian scientific contribution in the National and International context.** Advisor: Dr. Lucas Anjos de Souza. Co-advisor: Dra. Paula Fabiane Martins.

ABSTRACT - The preservation of living soils is crucial for the survival of humans, because it is a soil biodiversity, with its complexity, not only favors disease control, but also influences the quantity and quality of food we consume, what we breathe and what water we eat. We drink A long-term provisional brave requires the use of natural and sustainable principles. However, soil biodiversity is generally being indirectly affected by global man-made changes. Currently, after incorrect practices in its use, there are warning signs of contamination. It has long been a direct loss of biodiversity, functions, and other attributes of ecosystems resulting from an imbalance between a project's validity and the actual recovery rates for biodiversity and functionality. The hazardous nature of the waste can be mitigated by the application of conventional decontamination methods, such as incineration, composites and landfill. Thus, a viable and promising alternative for the treatment of contaminated soils is an application of biological techniques that have as main objective an estimate of the growth of the microorganisms using the contaminants as source of energy and food, creating a propitious environment for such. This is the case of Phytoremediation, a technique that uses plants and soil microbes in the associated to reduce as concentrations or toxic effects of contaminants in environments. By portraying a scenario like that of Brazil, which holds one of the greatest natural resources on the planet, we can not boast of a vigorous and real-time bioeconomy of innovations based on its biodiversity. In the last 15 years, many discussions have been raised, both on the academic and business side, converging to the same consensus: there is a delay in innovations from natural products and derivatives derived from our biodiversity.

Keywords: contamination, bioeconomics, bioremediation, environment.

INTRODUÇÃO GERAL

Compreendendo um reservatório dinâmico de biodiversidade, os solos possuem interações entre microrganismos, animais e plantas que proporciona diversos benefícios para o bem-estar humano; contudo, ainda é tímido o uso potencial preservar a saúde da vida no ambiente (BARDGETT & VAN DER PUTTEN, 2014; FISHER et al., 2007; WALL et al., 2012). O complexo dos solos é fundamental para sobrevivência não só dos seres humanos, mas da fauna e flora, pois sua biodiversidade, com uma complexidade inerente (os tipos, os tamanhos, os traços e as funções dos organismos do solo), favorece o controle de doenças, influencia a quantidade e a qualidade dos alimentos que se consome, o ar que se respira e a água que se bebe (WALL et al., 2015). Para isso, há a necessidade do uso cuidadoso e sustentável dos solos, a longo prazo, para permanência do uso dos benefícios.

Contudo, um fator importante a se considerar é que a grande diversidade do solo geralmente é afetada por mudanças globais provocadas por fontes antrópicas. E, devido às utilizações incorretas, surgem sinais de contaminações pelo ambiente.

Nos centros urbanos o solo está permanentemente exposto quantidades consideradas elevadas de contaminantes como óleos, hidrocarbonetos, alifáticos e aromáticos, halogenados voláteis, sulfatos e nitratos, metais pesados, cloretos, oriundos do desgaste dos sistemas de travagem, da estrutura metálica dos veículos automóveis e de gases de combustão. Podem ser provenientes também da atividade agrícola, recebendo grandes quantidades de compostos potencialmente poluentes, como aqueles produtos ricos em fósforo e nitrogênio, que estão na forma de estrumes, adubos ou lamas das Estações de Tratamento de água e esgoto, por aplicação indiscriminada de fertilizantes e pesticidas. Com esta prática, é eminente a perda de fertilidade do solo e pode ocasionar problemas sérios de poluição do solo, águas superficiais e subterrâneas (EEA, 2010).

Assim, com a tendência de crescimento das populações humanas e o consequente aumento do consumo *per capita*, a consequência é a exploração insustentável dos recursos que o meio ambiente pode oferecer (RANDS et al., 2010). Aliado a isso, destaca-se as alterações nos principais condutores ambientais da Terra, sendo eles: aumento da temperatura, elevada carga de nutrientes e aumento do dióxido de carbono atmosférico, que possuem o potencial para extinguir permanentemente a biodiversidade, além de impactar diversos aspectos do bem-estar humano (RANDS et al., 2010; STEFFENS et al., 2011.). Neste ambiente, há uma necessidade urgente para entender e solucionar as consequências das mudanças e padrões da utilização dos recursos naturais, primordiais para o ser humano e preservação da biodiversidade ambiental, além de propor e desenvolver políticas ecológicas, ambientais e sociais que possuem cunho responsável.

Desta forma, a biodiversidade, que relaciona as interações dos organismos vivos e as interações entre estes e seus ambientes, representa a diversidade de organismos vivos (BILLIONNET, 2013). Considerando a importância dos serviços ecossistêmicos, de bem-estar humano, a distribuição e fluxo através do espaço e de tempo necessitam ser devidamente avaliados, a fim de gerir e garantir o seu fornecimento contínuo (PRATCHETTS et al., 2014; REES et al., 2010). Porém, por causa do uso insustentável, há um contínuo desgaste dos ecossistemas, ao nível global e local e, consequentemente, os serviços que estes desgastes proporcionam aos ecossistemas (PRATCHETTS et al., 2014; RHODES et al., 2014). A biodiversidade está encarando uma erosão significativa e as consequências são muito mais graves e conhecidas do que as relacionadas às alterações climáticas (BILLIONNET, 2013). Esse declínio de qualidade perturba o ciclo do ecossistema e, portanto, afeta o funcionamento e ordem dos serviços que prestam às populações humanas. Nos serviços são inclusos, por exemplo, turismo, economia, alimentação, agricultura, habitação e saúde. A constante preocupação da perda de biodiversidade se dá pelo fato de ser um problema particularmente grave pois pode ser irreversível (BILLIONNET, 2013).

Buscando novas alternativas, o poder público, sob pressão, procura formas para explorar os recursos naturais por meio da utilização do conceito desenvolvimento sustentável. Um dos princípios centrais desta definição é a exploração dos recursos naturais de forma consciente para que não se esgote no futuro e, não cumpra-la causa a mudança climática. Mas o objetivo do desenvolvimento sustentável vai além do meio

ambiente (ARIVUMANI & VIJAYALAXMI, 2017), é também garantir uma estrutura societária forte, saudável e consciente.

A forma como se aborda a técnica sustentável afeta todos. É necessário identificar atividades que permitam gerar recursos para desenvolvimento, compatíveis com as exigências de áreas protegidas. Desta forma, medidas de recuperação ambiental são necessárias e legalmente obrigatórias.

Segundo a CETESPB (2001), a origem de áreas contaminadas depende de alguns fatores como o desconhecimento, no passado, de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas, assim como o desrespeito a tais procedimentos e a ocorrência de acidentes durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou de armazenamento de matérias primas e produtos.

Desta forma, uma definição para área contaminada seria:

“Área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural” (CETESB/GTZ, 2001, p.3).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017, p.1), a “recuperação de áreas degradadas está intimamente ligada à ciência da restauração ecológica. Restauração ecológica, por sua vez, é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Um ecossistema é considerado recuperado – e restaurado – quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais”.

Em 28 de dezembro de 2009, com a Resolução CONAMA nº 420, o gerenciamento de áreas contaminadas tornou-se possível, pois tornou-se viável a adoção de medidas que garantam a ciência das características dessas áreas e dos prováveis impactos por ela causados, identificando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto à melhor forma de intervenção. A gestão propõe minimizar os riscos a que estão expostos a população e meio ambiente, pela adoção de táticas de etapas sequenciais, nas quais as informações obtidas por etapa é a chave para execução da etapa posterior. Esta Resolução também traz critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto a presença de substâncias tóxicas ao solo (SILVA, 2007).

É preciso destacar que exigem legislações vigentes no Brasil, de maneira geral, capazes de auxiliar no processo de gerenciamento de sítios contaminados. Entre eles, é

possível mencionar: a recuperação de áreas degradadas compulsória – uma vez que a recuperação inclui o caso das áreas contaminadas – imposta aos poluidores que foram identificados, conforme a Lei nº 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente); a aplicação de sanções penais e administrativas para os responsáveis identificados pela contaminação do sítio (uma forma de atividade que seja lesiva ao meio ambiente) que tem amparo na Lei nº 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais); a Ação Civil Pública, que é regulamentada pela Lei nº 7.347/85, e mecanismo de responsabilização pelo Ministério Público, caso de se comprovar a responsabilidade pela poluição no solo e na água subterrânea (SILVA, 2007).

Em USEPA (1990), para metais pesados, três tecnologias de remediação foram apresentadas e segregadas como separação/concentração, solidificação/estabilização e contenção (Tabela 1).

Tabela 1 - Tecnologias de remediação

Classificação da tecnologia	Tecnologia específica
Contenção	Cobertura Barreiras verticais Barreiras horizontais
Solidificação/Estabilização	Micro-encapsulamento de polímeros Vitrificação
Separação/Concentração	Lavagem de solo in situ Lavagem solo ex situ Pirometalurgia Eletrocinética

Fonte: USEPA (1990)

Para atenuação da natureza considerada perigosa, aplica-se métodos tradicionais de descontaminação, como é o caso da incineração, compostagem e do *Landfilling*. No entanto, a aplicação destas técnicas é economicamente dispendiosa, pois envolve a remoção e transporte das áreas contaminadas, expõe-se os trabalhadores à toxicidade, pode acontecer de não eliminar ou reduzir a contaminação dos compostos e/ou gerar produtos mais agressivos (ALI et al., 2013).

Assim, uma alternativa viável e inovadora para o tratamento de solos contaminados são as técnicas biológicas que possuem como características principais, a estimulação do crescimento e desenvolvimento dos microrganismos usando os

contaminantes como fonte de energia e alimento para eles, e criando um ambiente propício (FRTR, 2013). Esta vem sendo estudada não só visando explorar a diversidade genética, como também transformar os contaminantes através da versatilidade metabólica microbiana, convertendo-os em produtos menos tóxicos.

Nas técnicas biológicas, ação dos microrganismos que se dispõem naturalmente no solo é estimulada pela circulação de soluções aquosas pelo solo contaminado, para desta forma, melhorar a decomposição biológica *in situ* de contaminantes orgânicos ou a sustação de contaminantes inorgânicos. Dentre eles, utiliza-se nutrientes, umidade, calor, entre outras variáveis, em condições anaeróbias ou aeróbias, para levar as chances de melhor eficácia dos processos biológicos e o aumento da dessorção dos contaminantes no subsolo. A biorremediação é, assim, uma técnica em que os microrganismos (fungos e bactérias) degradam e metabolizam os contaminantes presentes no solo transformando-os em produtos finais inofensivos (USEPA, 2005).

O composto Nitrato é um aceitador de elétrons, e na técnica de biorremediação induzida pelo composto, ele é muito mais solúvel do que o oxigênio em termos de aceitação dos mesmos e pode-se obter a energia livre em quantidade semelhantes, sob condições aeróbias (LU et al., 2011). Em alguns casos, identificou-se que o NO_3^- estimulou o desenvolvimento de ambas as desnitrificadoras (heterotróficas e autotróficas), e podem disputar, desta forma, na decomposição de orgânicos, com o sulfato na diminuição de bactérias, enquanto que o composto pode oxidar sulfeto (ZHANG et al., 2009; MBADINGA et al., 2011).

Dentre as técnicas de biorremediação, cita-se: biodegradação aeróbia, biodegradação utilizando o íon férrico, bioestimulação, bioaumento, microrganismos degradadores de hidrocarbonetos e fitorremediação. Destas, a fitorremediação " refere-se basicamente ao uso de plantas e micróbios de solo associados para reduzir as concentrações ou efeitos tóxicos de contaminantes nos ambientes" (GREIPSSON, 2011, p.7). Das suas utilizações, a remoção de metais pesados e radionuclídeos, assim como de poluentes orgânicos (como pesticidas, bifenilas policloradas e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares). Com características de baixos custos, é uma estratégia inovadora por ser ecologicamente correta e por se beneficiar da influência que a irradiação solar pode proporcionar. Do ponto de vista econômico, o intuito da fitorremediação de solos contaminados pode ser: (1) fitoextração de metais, como Ni, Tl e Au; (2) contenção de risco (fitostabilização); (3) gestão do solo onde a fitoextração

melhora a qualidade do solo para a utilização subsequente em culturas (VANGRONSVELD et al., 2009).

A eficácia da fitorremediação está relacionada diretamente à sobrevivência e crescimento de plantas em locais que foram contaminados, bem como a capacidade da atmosfera da raiz em resistir a uma população ativa de microrganismos do solo (COOK & HESTERBERG, 2013). Nas áreas contaminadas, as referidas populações são expostas à ação de toxinas e privação de nutrientes (WANG et al., 2011). Contudo, na promoção da fitorremediação, utiliza-se espécies de espécies vegetais mais tolerantes aos contaminantes, e que dependem inteiramente do crescimento rápido e vigoroso do sistema radicular (LIU et al., 2014). Assim como, a utilização de rizobactérias promotoras do crescimento como inóculos aceleram mais o crescimento de plantas e promovem a degradação usando microrganismos associados a rizosfera para desta forma, reduzir o stress ambiental (KHAN et al., 2013)

No momento em que as plantas removem os contaminantes do ambiente, elas contribuem para não haver o transporte pelo vento (poluentes passíveis de volatilização) e pela chuva (poluentes hidrofílicos), diminuindo, assim, a contaminação de novas áreas e dispersão do poluente. Das técnicas de fitorremediação, destaca-se para descontaminar solos, das quais se destacam: fitoestimulação (ou rizodegradação), fitoestabilização, fitoextração (ou fitoacumulação) e fitodegradação (FRTR, 2013) (MEERS & TACK, 2010).

A técnica de fitoextração acontece pela absorção dos contaminantes através das raízes e a acumulação/translocação destes nas folhas e/ou caules das plantas. É a integração de produtos inorgânicos em tecidos de plantas, tais como os metais pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Co, Mn e Hg) (VAMERALI et al., 2010). Algumas espécies de plantas que podem ser utilizadas nesta técnica são: sorgo (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (MEERS & TACK, 2010).

Fitoestabilização de um sítio contaminado com metais pesados pode atingida por alterações químicas provocadas para metais específicos, o que resultam em se tornar menos biodisponíveis (CAMESELLE, et al., 2013). Fitodegradação também inclui a decomposição de contaminantes no solo, com a realização da degradação de compostos produzidos pelas plantas como enzimas extracelulares. Assim, fitodegradação de hidrocarbonetos de petróleo (DE FARIAS et al., 2009) pode ser conseguida no solo, mesmo na presença de metais pesados (PARK et al., 2011). Já na técnica de

fitoestimulação, as raízes estimulam o crescimento de microrganismos que exercem a função de degradação na rizosfera, e utilizam os metabólitos exsudados da planta como base de carbono e fonte de energia (MEERS & TACK, 2010).

Um cenário como o brasileiro, detentor de uma das maiores riquezas naturais do planeta, pode-se orgulhar de uma bioeconomia vigorosa e baseada em produções inovadoras como fonte a rica biodiversidade – possui uma vasta fábrica natural e sofisticada de componentes que o meio ambiente oferece, que, se bem aproveitados, possui um enorme potencial enorme para inovações nos setores agroquímicos e suplementos alimentares, de fármacos, fragrâncias e cosméticos (BOLZANI, 2016).

Nos últimos 15 anos, muitas discussões, tanto do lado acadêmico quanto empresarial, foram levantadas, convergindo a um mesmo consenso: o atraso em inovações a partir de produtos naturais e derivados oriundos da nossa rica biodiversidade.

O Brasil não está considerando que pode ter uma posição de destaque no cenário mundial devido à biodiversidade. Somente um programa que instale pesquisas de biodiversidade em regiões mais estrategicamente planejadas com o meio ambiente, poderia gerar os conhecimentos necessários para que a biodiversidade brasileira seja conhecida e aproveitada plenamente (MAGNUSSON et al., 2016).

OBJETIVOS

1. Geral

- Determinar a tendência temporal da produção de publicações sobre Fitorremediação no Brasil e no exterior, no período de 2000 a 2016, quais são as vertentes da Fitorremediação (inorgânica ou orgânica) abordadas em estudos brasileiros e, quais as lacunas existentes sobre o conhecimento referente a estes para sugerir direções futuras.

2. Específicos

- Determinar o total de trabalhos sobre fitorremediação que foram publicados em periódicos brasileiros entre os anos de 2000 e 2016;

- Determinar quais periódicos publicam pesquisas em fitorremediação;

- Determinar qual vertente da fitorremediação (inorgânicos ou orgânicos) é mais estudada no Brasil;

- Determinar a frequência de publicações de artigos sobre fitorremediação por periódico;

- Agrupar quais espécies são estudadas, por bioma;

- Levantar qual a distribuição espacial, por continente, da quantidade de países que publicaram com o tema Fitorremediação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, H., KHAN, E., & SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ANTIZAR-LADISLAO, B. Bioremediation: Working with Bacteria. Elements – An Internacional Magazine of Mineralogy, Geochemistry and Petrology. *Sustainable Soil Remediation*, v. 6, n. 6, p. 389-394. 2010.

ARIVUMANI, AR.; I. VIJAYALAXMI. Advances in Natural and Applied Sciences, AcademicOneFile, go.galegroup.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&u=capes&v=2.1&id=G ALE%7CA498996726&it=r&asid=eb6cc1ffbc013e412c7b98fd8e1cfa8f. Accessed 21 Nov. 2017. "Sustainable development." vol. 11, no. 7, p. 296. 2017.

BARDGETT, R. D. & VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515. p. 505–511. 2014.

BILLIONNET, A. Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. *European Journal of Operational Research*, v. 231, n. 3, p. 514-534, 2013.

BOLZANI, V. D. S. Biodiversidade, bioprospecção e inovação no Brasil. *Ciência e Cultura*, v. 68n. 1, p. 04-05. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Recuperação de Áreas Degradadas. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/informma/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas> >. Acesso em 19 novembro 2017.

CAMESELLE, C., CHIRAKKARA, R. A., & REDDY, K. R. Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: status and opportunities. *Chemosphere*, v. 93, n. 4, p. 626-636. 2013.

CETESB/GTZ. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 2 ed. São Paulo: CETESB, 2001.

CHENG, Y., HOLMAN, H., LIN, Z. Remediation of Chromium and Uranium Contamination by Microbial Activity. Elements – An Internacional Magazine of Mineralogy. *Geochemistry and Petrology: Mineral, Microbes and Remediation*. V. 8, n. 2, p. 107-112. 2012.

COOK, R.L., HESTERBERG, D. Comparison of trees and grasses for rhizoremediation of petroleum hydrocarbons. *Int. J. Phytore.* v. 15, p. 844-860. 2013.

DE FARIAS, V., MARANHO, L.T., DE VASCONCELOS, E.C., DA SILVA CARVALHO, M.A. FILHO, L.G., LACERDA, J.A.M., AZEVEDO, A., PANDEY, C.R. Socoil Phytodegradation potential of *Erythrina crista-galli* L., Fabaceae, in petroleum-contaminated soil Appl. *Biochem. Biotechnol.* v. 157, p. 10 – 22. 2009.

EEA – European Environment Agency. Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century. v. 16, p. 10-22. 2010.

FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE [FRTR]. http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html. Acessado em 20 de Novembro de 2017. Em: <http://www.frtr.gov>. 2013.

FISHER, F. S., BULTMAN, M. W., JOHNSON, S. M., PAPPAGIANIS, D. & ZABORSKY, E. Coccidioides niches and habitat parameters in the southwestern United States: a matter of scale. *Ann. NY Acad. Sci.* v. 1111, p. 47–72. 2007.

GREIPSSON, S. Phytoremediation. *Nat. Educ. Knowl.*, v.2, p. 7. 2011.

KHAN, S., AFZAL, M., IQBAL, S., KHAN, Q.M. Plant–bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere.* v. 90, p. 1317-1332. 2013.

LIU, W., HOU, J., WANG, Q., DING, L., LUO, Y. Isolation and characterization of plant growth-promoting rhizobacteria and their effects on phytoremediation of petroleum-contaminated saline-alkali soil. *Chemosphere.* v. 117, n. 4, p. 303-308. 2014.

LU, X.Y, ZHANG, T, FANG, H.H.P. Bacteria-mediated PAH degradation in soil and sediment. *Appl Microbiol Biot.* v. 89, p. 1357-1371. 2011.

MAGNUSSON, W. E., ISHIKAWA, N. K., LIMA, A. P., DIAS, D. V., COSTA, F. M., HOLANDA, A. S. S. D., & BARRETO, M. R. A linha de véu: a biodiversidade brasileira desconhecida. *Parcerias Estratégicas*, v. 21, n. 42, p. 45-60. 2016.

MBADINGA, S.M., WANG, L.Y., ZHOU, L., LIU, JF, G.U. J.D., MU, B.Z. Microbial communities involved in anaerobic degradation of alkanes. *Int Biodeter Biodegr.* v. 65, p. 1–13. 2011.

MEERS, E. & TACK, F. Assisted Phytoextraction: Helping Plants to Help Us. Elements – An Internacional Magazine of Mineralogy, *Geochemistry and Petrology: Sustainable Soil Remediation*, v. 6, n. 6, p. 383-388. 2010.

PARK, S., KIM, K.S., KIM, J.T., KANG, D., SUNG, K. Effects of humic acid on phytodegradation of petroleum hydrocarbons in soil simultaneously contaminated with heavy metals. *J. Environ. Sci.* v. 23, p. 2034–2041. 2011.

PRATCHETT, M.S., HOEY, A.S., WILSON, S.K. Reef degradation and the loss of critical ecosystem goods and services provided by coral reef fishes *Curr. Opin. Environ. Sustain.* v. 7, p. 37-43, 2014.

RANDS, M.R.W., ADAMS, W.M., BENNUN, L., BUTCHART, S.H.M., CLEMENTS, A. Biodiversity conservation: challenges beyond. *Science.* v. 329, p. 1298 – 1303. 2010.

REES, L.D., RODWELL, M.J., ATTRILL, M.C., AUSTEN, S.C., MANGI. The value of marine biodiversity to the leisure and recreation industry and its application to marine spatial planning *Mar. Policy.* v. 34, p. 868-875. 2010.

RHODES, K.L., WARREN-RHODES, K.A., SWEET, S., HELGENBERGER, M., JOSEPH, E., BOYLE, L.N., HOPKINS, K.D. Marine ecological footprint indicates unsustainability of the Pohnpei (Micronesia) coral reef fishery. *Environ. Conserv.* v. 42, p. 182-190, 2014.

STEFFENS, W.I., GRINEVALD, J., CRUTZEN, P., MCNEILL, J. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Phil. Trans. R. Soc. A*, v. 369, p. 842-867. 2011.

SILVA, F. G. *Gestão de áreas contaminadas e conflitos ambientais: o caso da cidade dos Meninos.* Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 110, 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. Washington, EPA-625/R-99/010, 1990.

VANGRONSVELD, J.; HERZIG, R.; WEYENS, N.; BOULET, J.; ADRIAENSEN, K.; RUTTENS, A.; THEWYS, T.; VASSILEV, A.; MEERS, E.; NEHNEVAJOVA, E.; VAN DER LELIE, D.; MENCH, M. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 16, p. 765-794. 2009.

VAMERALI, T., BANDIERA, M., MOSCA, G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environ. Chem. Lett.*, v. 8, p. 1-17, 2010.

WALL, D. H., BARDGETT, R. D. *Soil Ecology and Ecosystem Services* (Oxford Univ. Press. 2012.

WALL, D. H. & SIX, J. Give soils their due. *Science.* v. 347, p. 695. 2015.

WANG, Z., XU, Y., ZHAO, J., LI, F., GAO, D., XING, B. Remediation of petroleum contaminated soils through composting and rhizosphere degradation *J. Hazard. Mater.* v. 190, p. 677-685. 2011.

ZHANG, H., ZHANG, T., SHAO, M.F., FANG, H.H.P. Autotrophic denitrification in nitrate-induced marine sediment remediation and *Sulfurimonas denitrificans*-like bacteria. *Chemosphere.* v. 76, p. 677-682. 2009.

FITORREMEDIAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA NO CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL

RESUMO - Uma das principais funções do solo é fornecer recursos naturais fundamentais para a sobrevivência de plantas, animais, e da raça humana. A contaminação de solos por metais pesados, como Cd, Ni, Zn, Pb e Cu, aumentou dramaticamente durante as últimas décadas. Uma alternativa viável para a descontaminação dos solos é a fitorremediação, que pode ser definida como o uso de microrganismo para degradar poluentes. Assim, objetivou-se com este estudo determinar a tendência temporal da produção de publicações sobre Fitorremediação no Brasil e no exterior, no período de 2000 a 2016, conhecer as vertentes da Fitorremediação (inorgânica ou orgânica) em estudos brasileiros e, além disso, identificar as lacunas existentes sobre o conhecimento referente a estes para sugerir direções futuras. Foi feito levantamento bibliográfico da base Scielo e da base Scopus, a distribuição do número de artigos publicados por ano, o agrupamento de artigos publicados por revista e por tipo de contaminante; foi determinado o tipo de documento mais publicado, a localização das publicações, a classificação dos periódicos identificados e foi feito o agrupamento das espécies trabalhadas por bioma. Os dados foram submetidos à Correlação de Pearson. Os resultados mostram que tanto para compostos orgânicos quanto para inorgânicos, houve uma um aumento expressivo de classificação no Qualis capes. A avaliação da tendência temporal de publicações, não demonstrou crescimento significativo ao longo desses 16 anos. Para as vertentes orgânicas e inorgânicas, também não houve crescimento nesses anos. De acordo com o hábito de crescimento, o maior número de ocorrências para fitorremediação de metais inorgânicos foi de espécies herbáceas. Identificou-se que as espécies do bioma Cerrado são alvo da maior parte dos testes com Fitorremediação no Brasil, seguido pela Mata Atlântica. Houve um aumento progressivo da quantidade de trabalhos no cenário mundial. Há tendência global de crescimento significativo ao longo desses 16 anos, ao nível nacional, essa tendência diminui. A maior produtividade científica se concentra na Europa, seguida pela Ásia, América do Norte, América do Sul e África.

Palavras-chave: cerrado, cenário mundial, compostos orgânicos e inorgânicos, contaminante.

PHYTOREMEDIATION: BRAZILIAN SCIENTIFIC CONTRIBUTION IN THE NATIONAL AND INTERNATIONAL CONTEXT

ABSTRACT - One of the main functions of soil and natural resources fundamental to the survival of plants, animals and the human race. Contamination of soils by heavy metals, such as Cd, Ni, Zn, Pb and Cu, increased dramatically over the decades. A viable alternative to soil decontamination is a phytoremediation, which can be defined as the use of a microorganism to degrade pollutants. Thus, the objective of this study was to determine a temporal trend in the production of publications on phytoremediation in Brazil and abroad, from 2000 to 2016, to study the phytoremediation aspects (inorganic or organic) in Brazilian studies and, moreover, to identify existing knowledge gaps to suggest future directions. A distribution of the number of articles published per year, the grouping of articles published by magazine and by type of contaminant was published in the journal Scopus; It was determined the type of published document, a location of the publications, a classification of journals identified and realized in the grouping of the species worked by biome. The data were submitted to Pearson's correlation. The results show that for both organic and inorganic compounds, there was an expressive increase of classification without Qualis capes. An evaluation of the temporal trend of publications did not show significant growth over the 16 years. For the organic and inorganic slopes, there was also no growth in those years. According to the habit of growth, the highest number of occurrences for phytoremediation of inorganic metals of herbaceous species. To identify that as species of the Cerrado biome are the target of most of the tests with Phytoremediation in Brazil, followed by the Atlantic Forest. There has been a progressive increase in the number of jobs without a world scenario. There is a global trend of significant growth over the 16 years, at the national level, this trend decreases. The highest scientific productivity is concentrated in Europe, Asia, North America, South America and Africa.

Keywords: cerrado, world scenario, organic and inorganic compounds, contaminant.

1.1 INTRODUÇÃO

A crosta terrestre é composta por uma camada superficial chamada solo, que sofre impactos de diversos tipos, danos diretos e indiretos causados pela exploração antrópica ao meio ambiente, que se pode mencionar o derramamento de produtos químicos, prejudicando assim formas de vida, incluindo a microbiológica. Um dos objetivos principais das funções do solo é fornecer recursos naturais suficientes e primordiais para a perpetuação da sobrevivência de plantas, animais e da raça humana. As funções do solo dependem das relações de equilíbrio entre a química, biológica e propriedades físicas assim como da sua estrutura e composição (HEIDERSCHIEDT, 2016).

Atividades como fundição, mineração, fabricação, emissões de tráfego, resíduos urbanos, uso de fertilizantes agrícolas e pesticidas e efluentes industriais (MORGAN, 2013; CHIBUIKE & OBIORA, 2014) aumentou drasticamente nas últimas décadas ocasionando a contaminação do solo por metais pesados como Ni, Zn, Pb e Cu (CHIBUIKE & OBIORA, 2014). Esta contaminação dos solos por metais pesados pode ser tida como generalizada (AL NAGGER et al., 2013). Já a degradação do solo provocada por metais pesados tem efeitos contrários e muito prejudiciais sobre o meio ambiente e ecossistema em todo o planeta (LI et al., 2013; CHEN et al., 2015). Os metais são pouco solúveis em água o que dificulta o processo de degradação, acumulando nos solos e conseqüentemente, nas plantas (GHONEIM et al., 2014).

Há a necessidade de buscar plantas com mecanismos de tolerância em ambientes contaminados pois os metais pesados interferem prejudicialmente no crescimento, distribuição e no ciclo biológico das espécies vegetais, para assim, construir uma remediação ambiental espacial (SOUZA et al., 2013). Como remediação, a biorremediação, que é a técnica que utiliza microrganismo para degradar poluentes. Estimulando os microrganismos presentes na atmosfera terrestre para degradar os contaminantes no próprio ambiente, ou a aproveitando da capacidade metabólica destes (HEIDERSCHIEDT et al., 2016).

A fitorremediação é uma técnica derivada da biorremediação e possui estratégia de remoção de compostos tóxicos do ambiente com a utilização de plantas para chegar ao objetivo de restauração. Por ser economicamente viável, proporciona menores impactos ao meio ambiente (ALI et al. 2013). A escolha da espécie vegetal determina a eficiência da técnica, sendo que algumas delas com já possuem ocorrência

natural de tolerância a alguns compostos orgânicos. Os metais podem ser translocados para outros tecidos da planta como folhas e volatilizados. Podem ainda ser degradados ou transformados em produtos menos tóxicos, ou melhor, menos fitotóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (MOOSAVI & SEGHATOLESLAMI, 2013).

O Brasil possui destaque mundial por ser considerado o país com maior diversidade biológica no mundo. Exibindo uma exuberante diversidade biológica tanto em quantidade de espécies quanto na complexidade de seus biomas. Contudo, esses recursos naturais são negligenciados pela ampliação frenética de atividades econômicas exploratórias ou ainda, superestimados por movimentos conservacionistas (PIMENTEL et al., 2015).

Fato é que o país vem perdendo espaço científico de conhecimento da própria biodiversidade por considerar os interesses econômicos predominantes, enquanto que na realidade, pode-se usufruir dos meios que a natureza oferece aliado ao desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, objetivou-se com este estudo determinar a tendência temporal da produção de publicações sobre Fitorremediação no Brasil e no exterior, no período de 2000 a 2016, conhecer as vertentes da Fitorremediação (inorgânica ou orgânica) em estudos brasileiros e, além disso, identificar as lacunas existentes sobre o conhecimento referente a estes para sugerir direções futuras.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Levantamento de dados bibliográficos

1.2.1.1 Levantamento bibliográfico da base Scielo

O levantamento bibliográfico foi realizado na base de dados Scielo (Scientific Electronic Library Online). Para a pesquisa, utilizamos o termo de indexação “phytoremediation” que foi buscado em “All indexes”, ou seja, qualquer artigo que tenha utilizado esse termo, em qualquer uma de suas partes, foi recuperado pelo mecanismo de busca da plataforma. Desse modo a pesquisa se tornou bastante abrangente para que se pudesse realizar todas as análises posteriormente. A pesquisa foi realizada utilizando o indexador mencionado acima dentro de uma abrangência de 17 anos, ou seja, entre os anos de 2000 e 2016.

1.2.1.2 Levantamento bibliográfico da base Scopus

Outro levantamento bibliográfico foi realizado na base de dados SciVerse Scopus. Para a pesquisa, utilizamos o termo de indexação “phytoremediation” que foi buscado em “Article Title, Abstract, Keywords”, ou seja, qualquer artigo que tenha utilizado esse termo, no título, resumo ou palavras-chave, foi recuperado pelo mecanismo de busca da plataforma. Desse modo a pesquisa também se tornou bastante abrangente para que possamos realizar todas as análises posteriormente. A pesquisa foi realizada utilizando o indexador mencionado acima dentro de uma abrangência de 17 anos, ou seja, entre os anos de 2000 e 2016.

1.2.2 Agrupamento e categorização dos dados

1.2.2.1 Distribuição do número de artigos publicados por ano

Para avaliarmos a dinâmica de publicação de trabalhos sobre Fitorremediação, os artigos foram classificados em função do ano de publicação.

1.2.2.2 Agrupamento de artigos publicados por revista

Para avaliarmos as revistas que mais abordam o assunto Fitorremediação, relacionamos o número de artigos totais publicados nos últimos 17 anos por revista.

1.2.2.3 Agrupamento dos dados por tipo de contaminante

Para avaliarmos a classificação geral dos contaminantes mais estudados no Brasil e no Mundo, categorizamos os artigos de acordo com o tipo de contaminante abordado no estudo, se contaminante é orgânico ou inorgânico. Também realizamos a distribuição dos artigos em função do tipo de contaminante por revista.

1.2.2.4 Localização das publicações

Fizemos uma distribuição espacial, por continente, da quantidade de países que publicaram com o tema Fitorremediação.

1.2.3 Classificação dos periódicos identificados

A partir da segregação dos artigos, baseado em poluentes orgânicos e inorgânicos, buscamos a classificação das revistas pelo Qualis e pelo Fator de Impacto.

1.2.4 Agrupamento das espécies trabalhadas por bioma

Foram detalhadas todas as espécies estudadas nos 124 trabalhos retornados no banco de dados Scielo e, de acordo com elas, buscamos o bioma de ocorrência predominante no Brasil.

1.2.5 Análise dos dados

Uma correlação de Pearson ($P < 0,05$) foi realizada com o número de publicações pelo ano de publicação, a fim de verificar se houve um aumento significativo da quantidade de estudos ao longo dos anos. Outra análise de correlação de Pearson foi executada com as vertentes da Fitorremediação (inorgânicos ou orgânicos) em estudos brasileiros. Para conhecer os aspectos geográficos dos países na colaboração científica (vínculo institucional do primeiro autor) é apresentada a distribuição das localidades e continentes por busca em dados internacionais.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Tendência científica sobre a Fitorremediação no Brasil

O número de estudos publicados no Brasil sobre Fitorremediação foi significativamente pequeno no início dos anos 2000 (2 publicações) se comparado ao ano de 2009 que com 15 trabalhos totais, sendo 12 destes com compostos inorgânicos e 3 com orgânicos, até atingir um ápice de publicações em 2011, em que, 14 trabalhos foram de estudos com compostos inorgânicos e 5 com orgânicos (Figura 1). Ainda assim, desacelerou-se o ritmo destas publicações, chegando a somente 3 com revistas que publicaram com compostos orgânicos e 4 com compostos inorgânicos, em 2016. Pela análise da séria histórica, evidencia-se uma queda em 63,2% nas publicações entre 2000 e 2016. Estudo elaborado por Brauna, et al. (2017), com tópico de pesquisa “sustainable remediation”, na base de dados Scielo, foram encontradas 196 publicações, sendo que, sua distribuição foi referente ao recorte temporal dos anos de 1980 a 2016. As primeiras publicações iniciaram no ano de 1999 e a partir dos anos 2000, com interesse em incorporar a sustentabilidade nos processos de tomada de decisão quanto à remediação de áreas contaminadas, por meio da disseminação do termo “remediação sustentável”, refletindo uma percepção de que as atividades de remediação podem trazer impactos ambientais, sociais e econômicos, tanto positivos quanto negativos.

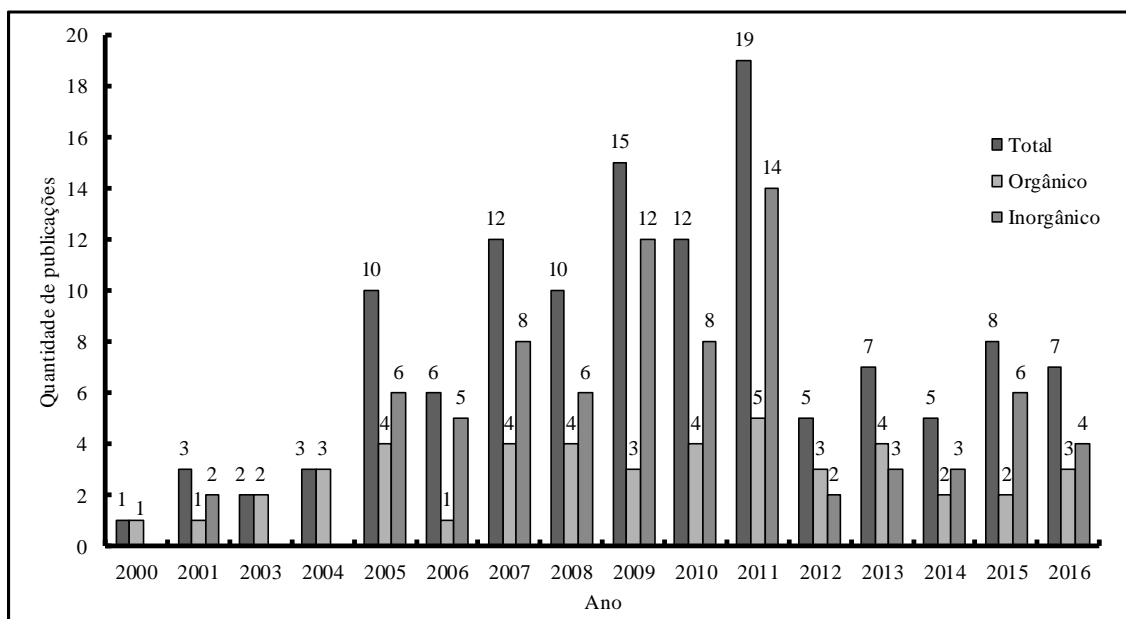


Figura 1. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.

Neste período, Brauna e colaboradores constataram que a quantidade de publicações aumentou gradativamente ao longo dos anos analisados, até que, entre 1999 e 2008 houve um desempenho relativamente estável, e, a partir de 2009, o total de artigos publicados começou a crescer, atingindo o ápice no último ano de análise, 2016, com 42 publicações, cerca de 21,5% do total apresentado.

Desta forma, observa-se que há uma tendência de maiores quantidades de estudos com remediação sustentável de uma forma geral no Brasil, diferentemente da perspectiva apresentada com fitorremediação, que tendeu a declinar.

Foi levantado a quantidade de revistas que publicaram sobre Fitorremediação no Brasil. No período de 2000 a 2016, as revistas *Planta Daninha* e *Revista Brasileira de Ciência do Solo* publicaram um total de 21 e 19 trabalhos, respectivamente (Figura 2). Para ambas as revistas, o maior número de publicações foi nos periódicos que estudaram compostos orgânicos (19 trabalhos publicados na revista *Planta Daninha* e 16 na revista *Brasileira de Ciência do Solo*). Assim, evidencia-se que há uma maior preocupação em solucionar problemas relacionados à contaminação por compostos orgânicos que inorgânicos, ou ainda, que existem, de fato, maiores problemas na realidade com poluentes orgânicos nos setores agrícolas.

Observa-se que os periódicos com escopo em fisiologia vegetal e ciência do solo são os que mais publicaram sobre o tema, apesar da fitorremediação ser uma área de

interesse, também, da ecologia, engenharia ambiental e química ambiental. Silva (2016) observou que trabalhos com fitorremediação são multidisciplinares e que exigem conhecimento de áreas como Microbiologia, Engenharia, Ecologia, Geologia e Química e, desta forma, estão sendo cada vez mais buscados, estudados e executados por grande número de autores. Esta técnica explora vários campos de conhecimento e torna-se vastamente simples e acessível para se contextualizar com essas áreas.

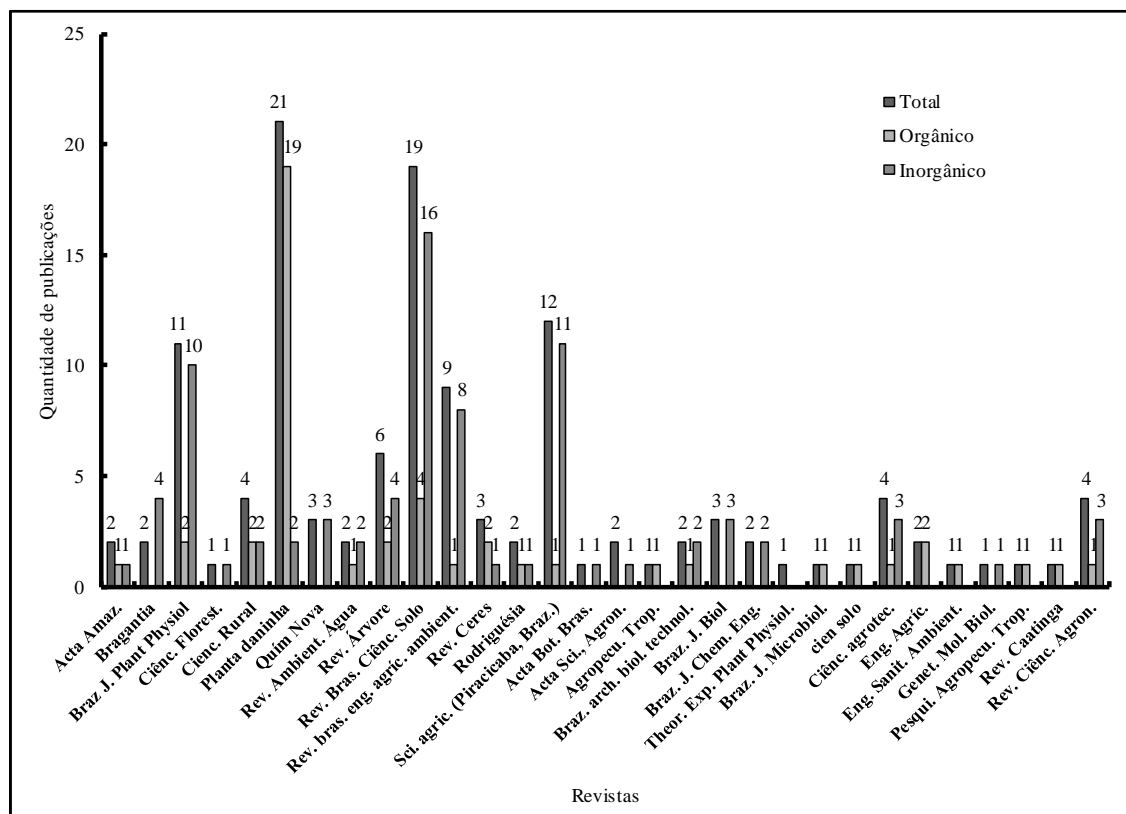


Figura 2. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação por revista, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.

O interesse das áreas agrárias em uma tecnologia sustentável evidencia que o setor está cada vez mais interessado no tratamento de áreas contaminadas com tecnologias limpas como a fitorremediação, assim como observado na tendência de publicações do período estudado. Segundo De Oliveira et al. (2009) a palavra sustentabilidade passou a possuir um importante desígnio para a modificação do enfoque dos sistemas agrícolas brasileiros. “Manejo Integrado de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Manejo Ecológico de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Agricultura Orgânica”, “Agricultura Alternativa”, “Produção Integrada de frutas”, “Aproveitamento de Resíduos Orgânicos”, “Racionalização no Uso de Insumos Agrícolas”, são exemplos de expressões cada vez mais presentes nos estudos, projetos

de pesquisa e nas normas dos programas de extensão rural das instituições responsáveis pelo desenvolvimento, agora “sustentável” do agronegócio do País.

De acordo com as revistas buscadas no banco de dados Scielo, foi levantado a quantidade de revistas e a classificação das mesmas no Qualis Capes, na área de Biodiversidade. Para compostos inorgânicos, 22 trabalhos foram publicados com classificação B2, 46 trabalhos foram publicados em B3, 02 trabalhos em categoria B5 e 12 trabalhos não foram classificados. Já para os compostos orgânicos, 23 trabalhos foram publicados com classificação B2, o que sugere trabalhos de boa qualidade e apenas um trabalho não foi classificado (Tabela 2). Quanto ao Fator de Impacto dos trabalhos publicados sobre Fitorremediação, foi identificado apenas duas variações (0 – 0,99 e 1 – 1,99), sendo a relação entre compostos orgânicos e inorgânicos muito próxima. Este indicador demonstra uma semelhança de padrão nos artigos publicados no Brasil.

Tabela 2 – Revistas classificadas quanto ao Qualis Capes e Fator de Impacto, sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, relacionando a quantidade de trabalhos com compostos orgânicos e inorgânicos, por classificação B2, B3, B4, B5 e que não foram segregadas (X).

<i>Compostos</i>	FATOR DE IMPACTO						
	<i>Variação</i>						
	0 - 0,99	1 - 1,99	2 - 2,99	3 - 3,99	4 - 4,99	5- 5,99	6 - 6,99
<i>Orgânicos</i>	19	2	0	0	0	0	0
<i>Inorgânicos</i>	20	2	0	0	0	0	0

<i>Compostos</i>	QUALIS CAPES								
	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C	-
<i>Orgânicos</i>	0	0	0	23	16	5	2	0	1
<i>Inorgânicos</i>	0	0	0	22	46	0	2	0	12

A avaliação da tendência temporal de publicações, não demonstrou crescimento significativo ao longo desses 16 anos ($r = 0,45$; $P > 0,05$) (Figura 3). Para as vertentes orgânicas e inorgânicas, não houve crescimento nesses aspectos ($P > 0,05$) (Figura 4), assim corroborando com a análise temporal do número de estudos ao longo dos anos.

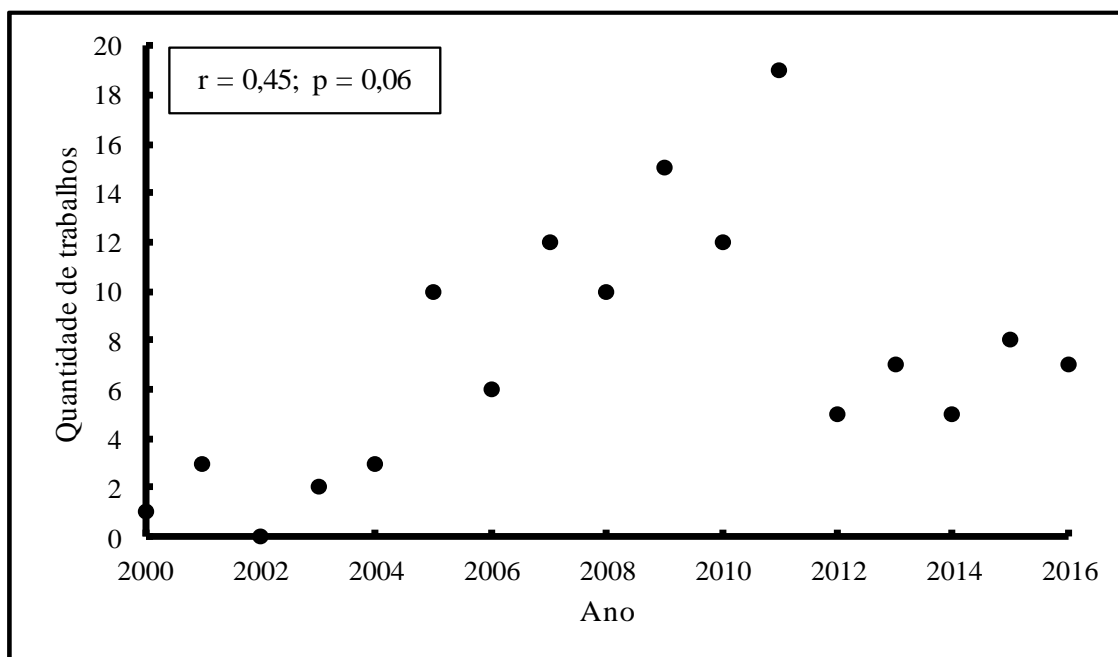


Figura 3. Tendência temporal de publicações sobre Fitorremediação, publicados entre 2000 a 2016 no Brasil de acordo com base de dados Scielo.

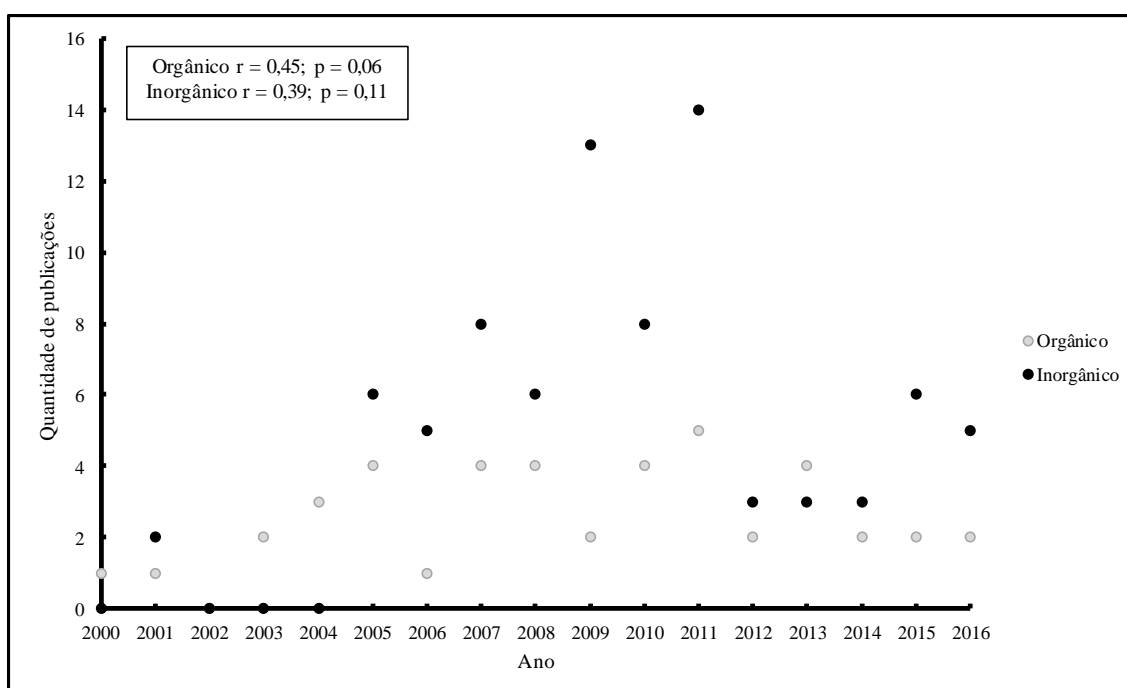


Figura 4. Tendência temporal de publicações relacionando as vertentes orgânicas e inorgânicas da Fitorremediação no Brasil, entre 2000 e 2016, de acordo com base de dados Scielo.

1.3.2 Classificação das revistas e hábito de crescimento das espécies estudadas

A partir da busca no banco de dados Scielo e, após segregação dos resultados em trabalhos que estudaram compostos orgânicos e inorgânicos, as espécies encontradas em cada periódico foram classificadas de acordo com o hábito de crescimento. Desta forma,

o maior número de ocorrências de metais inorgânicos (25 ocorrências) foi de espécies herbáceas, seguido por plantas arbóreas, herbáceo estrato graminoide, macrófita aquática, arbustos e fungos micorrízicos arbusculares, com 17, 14, 10, 4 e 2 trabalhos, respectivamente (Figura 5). Em estudo com coleta de dados no banco de dados da principal Coleção do *Web of Science* de Thomson-ISI, Silva (2016) identificou 506 espécies de plantas entre todas as palavras-chaves dos 5913 artigos buscados em sua pesquisa. As espécies que retornaram mais resultados foram: *Brassica sp.* (269), *Salix sp.* (183) e *Populus sp.* (176). O gênero *Brassica* pertence à família Brassicaceae e é representado por espécies herbáceas com aspectos perenes e anuais. Os representantes deste gênero são amplamente conhecidos por seu interesse econômico na alimentação como a mostarda, o nabo e o repolho, e, desta forma, acumulam-se algumas substâncias tóxicas no tecido da planta, especialmente nas raízes (HERKLOTZ et al., 2010; SZCZYGLÓWSKA et al., 2011). Também com destaque, os gêneros *Salix* e *Populus*, que pertencem à família Salicaceae, são característicos como árvores e arbustos, consideradas excelentes hiperacumuladoras e utilizados também como ornamentais, na produção de madeira, em cestaria, e na restauração de cursos d'água (SUN et al., 2012).

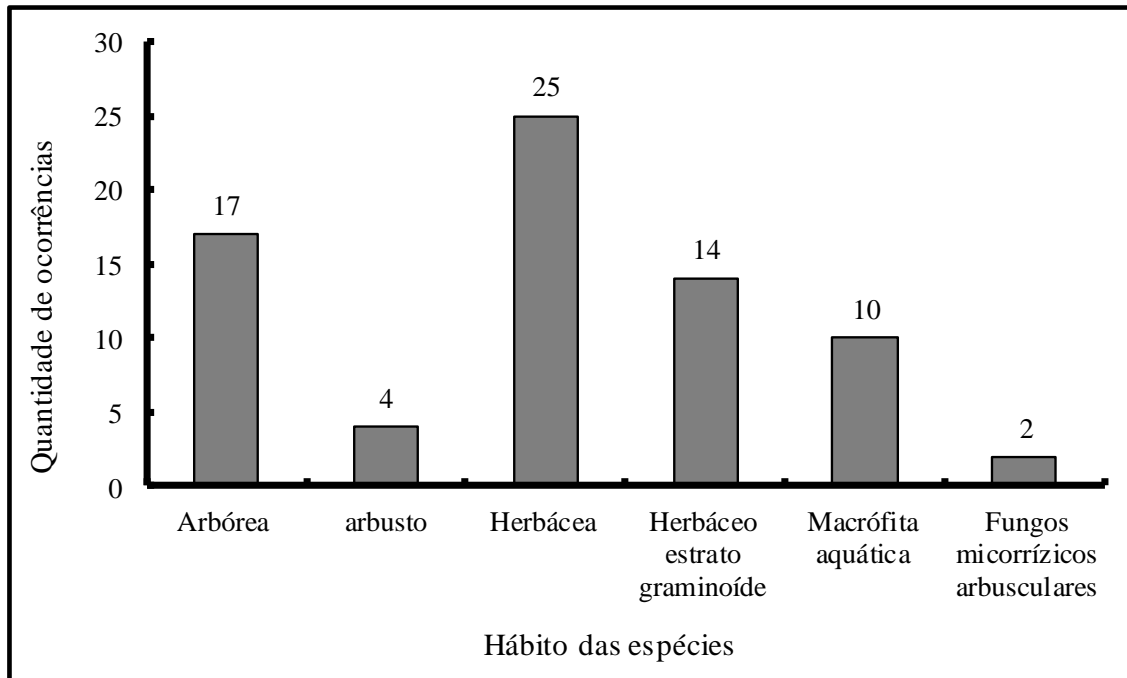


Figura 5. Trabalhos publicados com grupos estudados com compostos inorgânicos com segregação das espécies encontradas de acordo com a tolerância à metais tóxicos, na base de dados Scielo, entre os anos de 2000 a 2016.

Além disso, uma vez levantadas as espécies estudadas, fez-se a categorização por bioma de ocorrência dessas espécies. Desta forma, identificou-se que as espécies do bioma Cerrado (35 ocorrências) são alvo da maior parte dos testes com Fitorremediação no Brasil, seguido pela Mata Atlântica (24 ocorrências) (Figura 6).

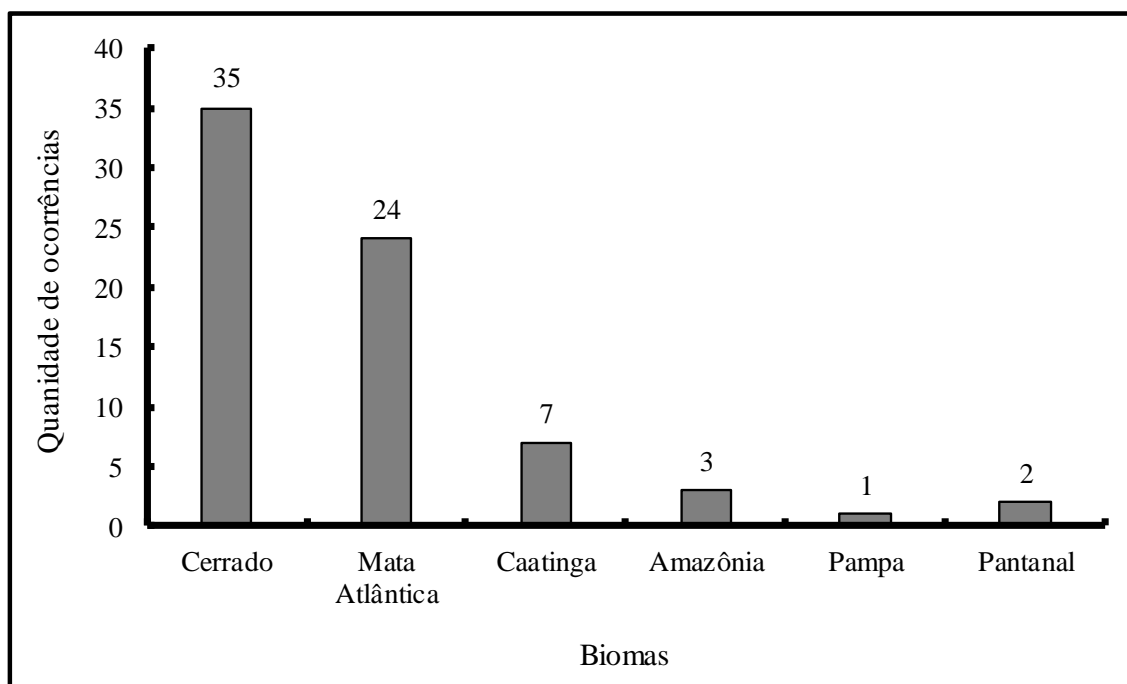


Figura 6. Quantidade de ocorrências das espécies encontradas nos trabalhos estudados, na base de dados Scielo, de acordo com bioma predominante á tolerância de metais tóxicos, segregados de publicações com compostos inorgânicos de acordo com o hábito de crescimento, entre os anos de 2000 a 2016.

Em estudo elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011), identificou-se que o bioma Cerrado abriga mais de 11.000 espécies, das quais 4.400 são endêmicas, e a heterogeneidade do espaço é um fator determinante para a diversidade. Com a classificação dessa vasta biodiversidade, qualificou-se este bioma como a "fitofisionomia savânica mais rica do mundo", e por ainda ser reconhecido como o berço das águas, já que abriga as nascentes dos principais rios das bacias Amazônica, da Prata e do rio São Francisco. No entanto, Da Silva e colaboradores (2014) relataram que a quantidade gerada de resíduos que possuem origem da rede urbana, industrial ou agroindustrial associados ao alto custo de fertilizantes químicos, estão se tornando opções cada vez mais atrativas com a utilização dos resíduos orgânicos na agricultura; e, dentre os problemas encontrados, nota-se que a presença de metais pesados pode restringir e limitar a sua utilização, visto que pode ser absorvido pelo sistema radicular

da planta e entrar na cadeia alimentar. Assim, elementos como o alumínio (Al), bário (Ba), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni), encontrados nas fontes antrópicas, quando dispostos em quantidades excessivas no solo, considerados metais pesados, podem suscitar efeitos tóxicos tanto a plantas quanto a atmosfera e biota do solo (LEQUEUX et al., 2010; CAMBROLLÉ et al., 2015).

Em relação às plantas hiperacumuladoras, o Cerrado tem um grande potencial para ser estudado. As plantas deste bioma possuem a característica de crescerem em solos ácidos e ricos em metais que não conferem risco ao seu desenvolvimento (MEYER, et al., 2016). Destas características, as mais comuns são: alta deficiência de nutrientes, alta capacidade de fixação de fósforo e baixa capacidade de troca de cátions, elevada acidez e toxidez de alumínio (CHAVES, 2001). O potencial de fitorremediação de plantas nativas do cerrado é determinado pelas características apresentadas, e que englobam plantas rústicas que possuem uma biologia adaptada, diferenciada e que, em condições edáficas climáticas, outras plantas não sobreviveriam. Assim, uma das maiores barreiras para o desenvolvimento da técnica da fitorremediação no Cerrado atualmente é a falta de estudos com plantas nativas (HARIDASAN, 1994).

Dentre os critérios desejáveis para as plantas fitorremediadoras, Procópio et al. (2009b) listam um, elevadas capacidade transpiratória, uma alta taxa de crescimento e produção de biomassa e de exsudação radicular, sistema radicular profundo e denso, resistência a pragas e doenças, fixação de nitrogênio atmosférico, adaptabilidade ao local contaminado, fácil aquisição ou multiplicação de propágulos além de fácil controle ou erradicação posterior, alta associação com fungos micorrízicos, entre outras.

As espécies vegetais do bioma Cerrado são extremamente complexas em estruturas e ricas em espécies lenhosas endêmicas. A grande variedade de forma, tamanho e grau de esclerofilia do limbo foliar das espécies lenhosas, além da grande diversidade de vida, são qualidades marcantes de qualquer área deste ambiente (FRANCO, 2005). Segundo Lamego e Vidal (2007), as vantagens da utilização de plantas como fitorremediadoras incluem elevada produção de biomassa, crescimento rápido, vigor, tolerância à poluição e competitividade. Porém, é de se esperar que o uso das plantas deste bioma como potencial fitorremediador esteja sendo subestimado.

1.3.3 Tendência global e aspectos geográficos

Contrastando com as características de publicações brasileiras, no período de 2000 a 2016, houve um aumento progressivo da quantidade de trabalhos no cenário mundial. Em 2016 foram 1021 publicações (Figura 7), com acréscimo de 87% em relação ano de 2000, e as revistas detentoras de maiores publicações foram Ciências Ambientais e Ciências Biológicas e da Agricultura (5583 e 3543, respectivamente) (Figura 8).

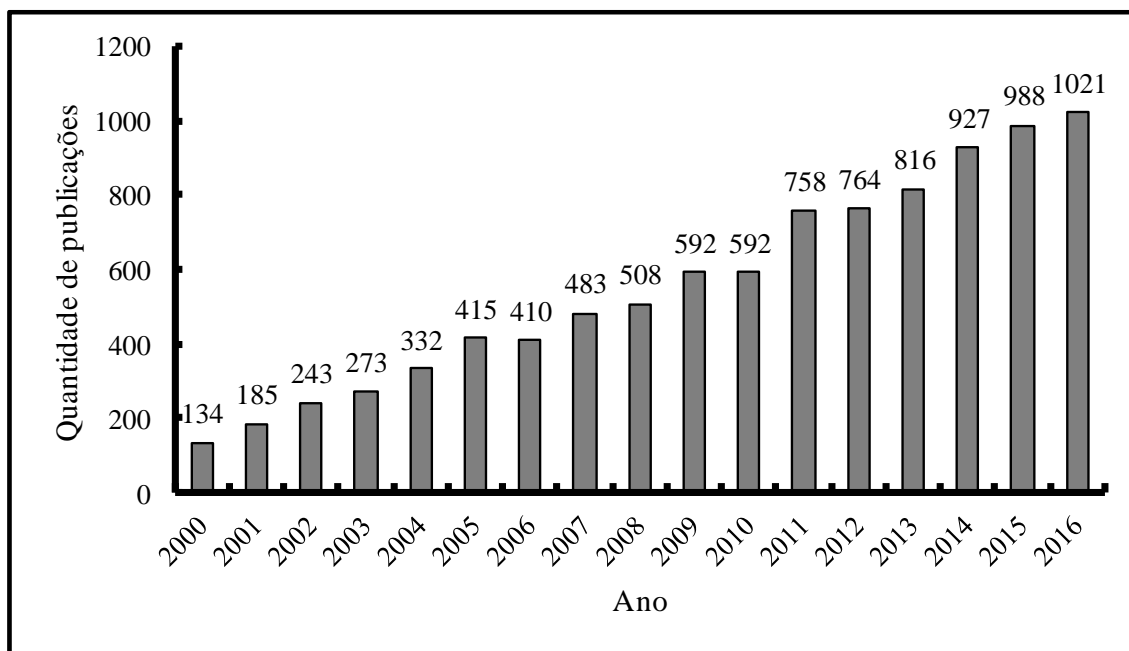


Figura 7. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações ao período, de 2000 a 2016.

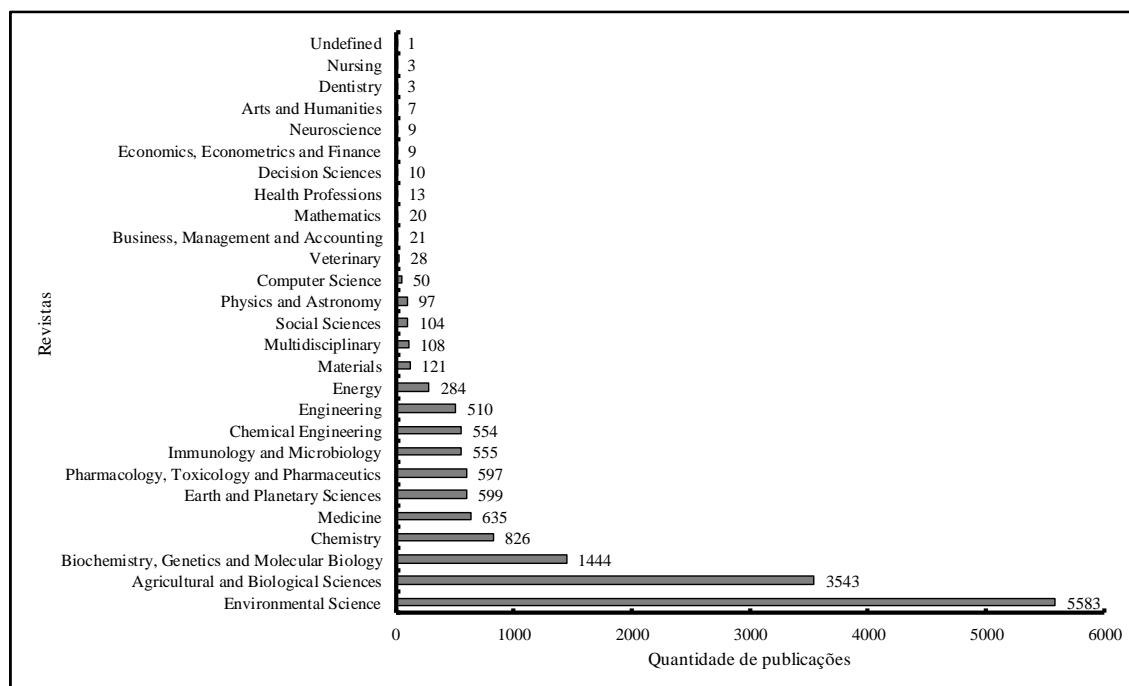


Figura 8. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações às áreas do conhecimento em que foram publicadas, de 2000 a 2016.

Do total de 9441 publicações no Mundo, no período em estudo, 7479 publicações foram do tipo artigo científico. Da mesma maneira, considerando apenas as publicações do tipo artigo científico, também houve um significativo aumento de publicações (87%), em que, 105 trabalhos foram publicados em 2000 e 837 em 2016.

O país que mais publicou sobre Fitorremediação no mundo foi a China (1657 trabalhos), seguido por Estados Unidos da América (EUA) (1223) e Índia (769) (Figura 9). Este é um reflexo de que o continente Asiático lidera estudos envolvendo a técnica. Silva (2016) identificou que os EUA ocuparam a primeira posição em quantidade de artigos sobre Fitorremediação. Este estudo, diferente do que foi encontrado nesta pesquisa, os trabalhos realizados por autores norte-americanos mostram um reflexo presente em outras áreas do conhecimento por causa do investimento local na pesquisa e infraestrutura. Para a maioria das áreas do conhecimento, os trabalhos científicos são, na maioria das vezes, centralizados em países industrializados.

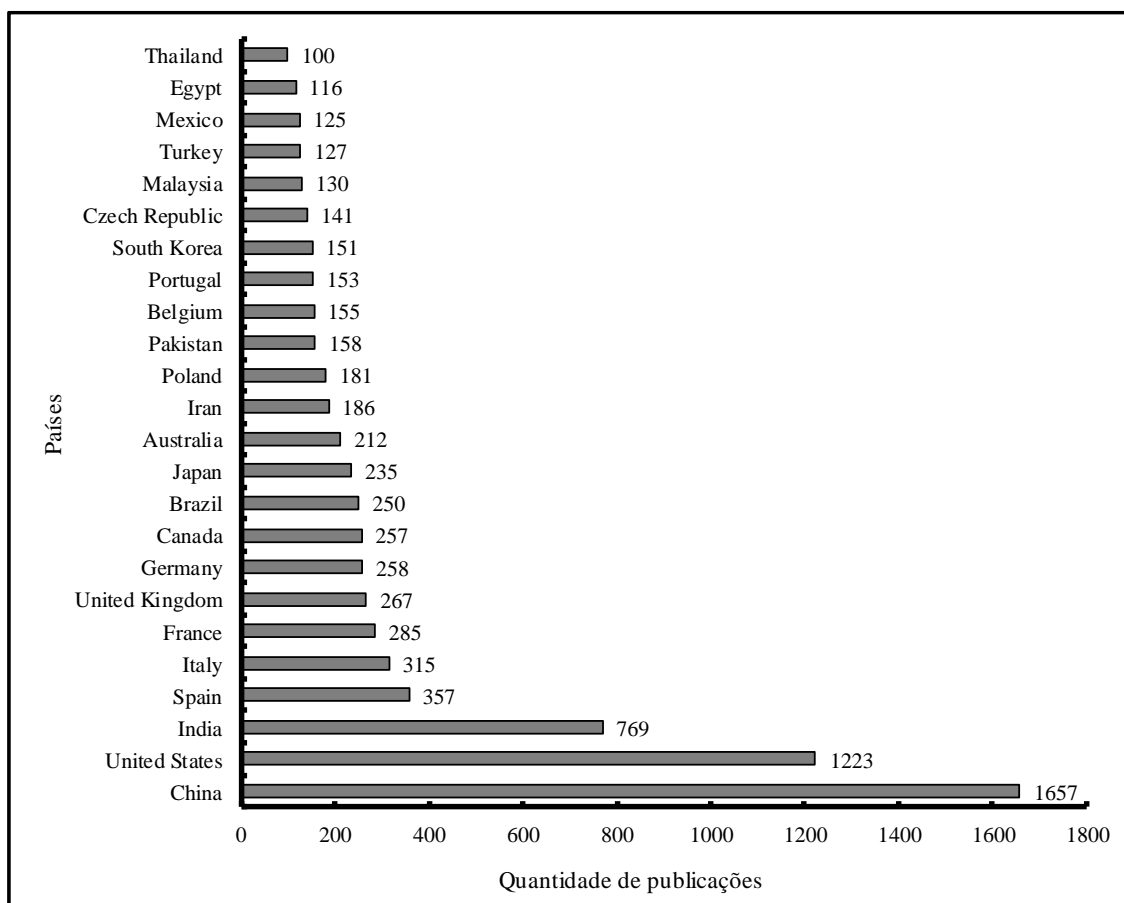


Figura 9. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total de publicações aos países que publicaram, de 2000 a 2016.

Pode-se assim concluir que a América do Norte e determinados países europeus são os dominantes na produção e conhecimento científico (PIERRO, 2014). A Índia e a Espanha apesar de ocuparem a nona e décima posição na produção científica geral, estão em terceira e quarta posição respectivamente na produção científica sobre Fitorremediação.

O Brasil ocupa a décima posição, considerada relevante no cenário mundial. Ainda segundo Silva (2016), no ranking da produção científica global, somente o Brasil, em toda a América Latina, obteve destaque, ocupando a décima quinta posição e, diante dos estudos com fitorremediação também foi o único país da América Latina em destaque.

Considerando apenas as publicações de autores brasileiros que publicaram no exterior, somam-se 290 trabalhos. Destes, 250 foram publicados como artigos. Do total de artigos, ratificando os resultados a nível mundial, as revistas que mais publicaram foram nas áreas de Ciências Ambientais e Ciências Biológicas e da Agricultura (105 e

151, respectivamente) (Figura 10). As publicações em artigos cresceram 93% de 2000 a 2016 (Figura 11).

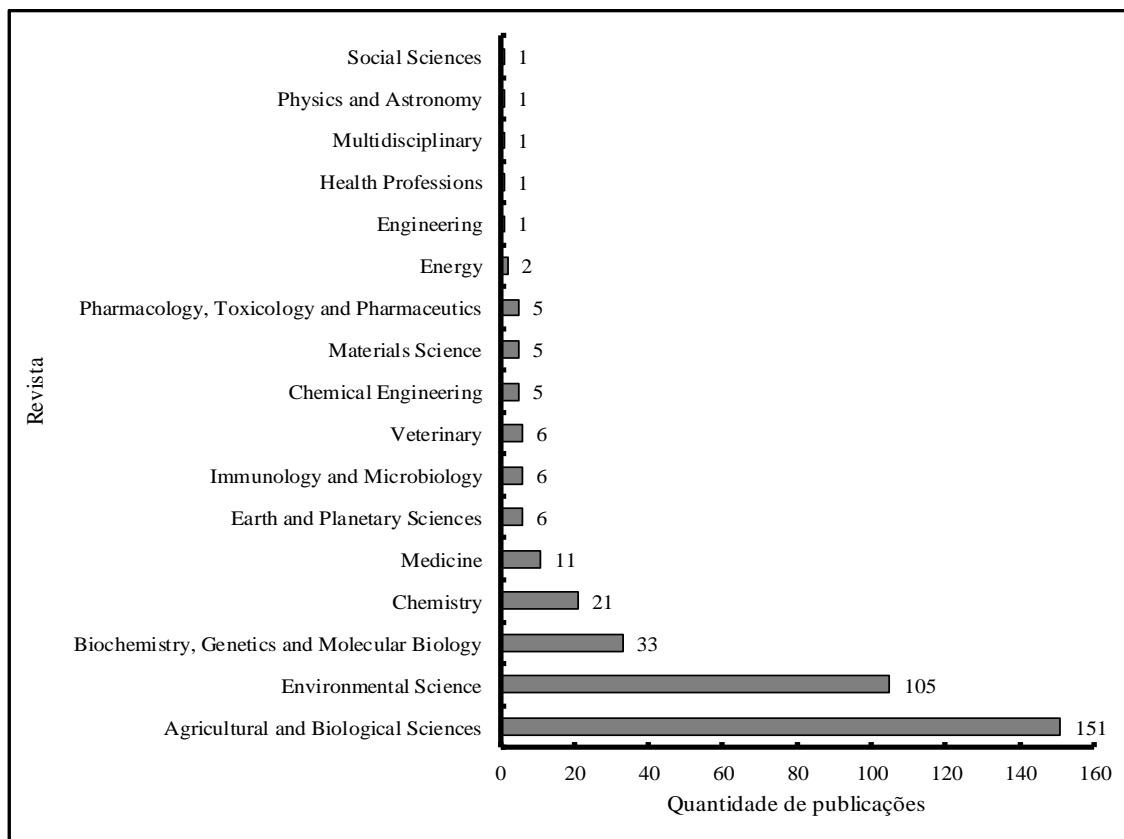


Figura 10. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade de publicações de trabalhos brasileiros às revistas que publicaram, de 2000 a 2016.

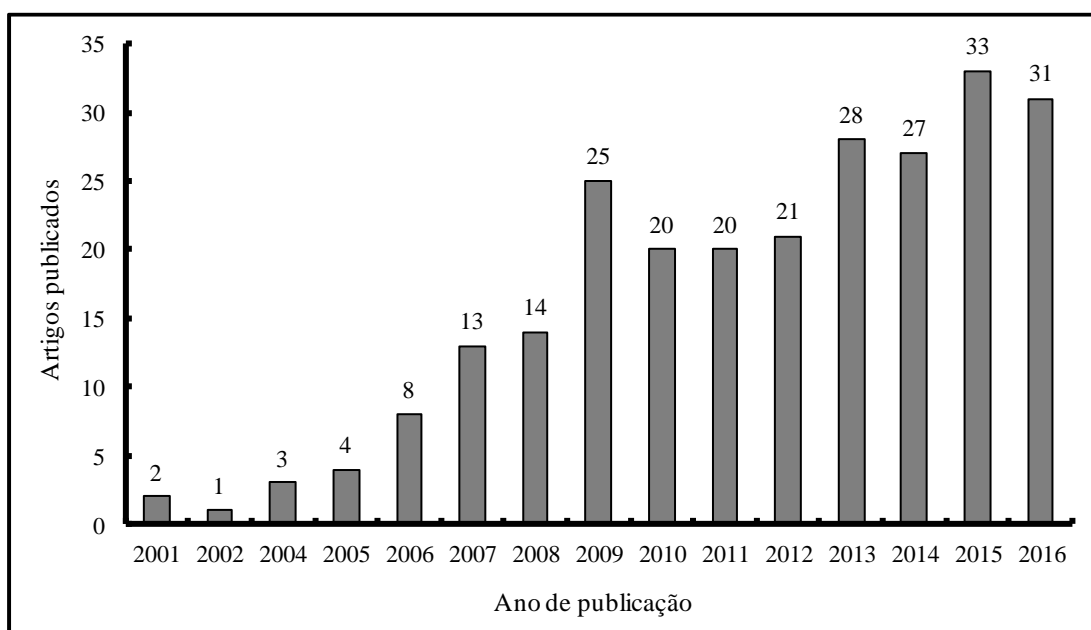


Figura 11. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade de publicações de trabalhos brasileiros ao ano de publicação, de 2000 a 2016.

Ao levantar estudos publicados na base de dados mundial, com publicações de autores brasileiros, essa quantidade foi aumentando expressivamente dos anos 2000 (2 publicações) se comparado ao ano de 2016 com 33 trabalhos totais, sendo 22 destes com compostos inorgânicos e 11 com orgânicos, atingindo o ápice de publicações (Figura 12). Pela análise da séria histórica, evidencia-se um aumento de em 94% nas publicações no mesmo período.

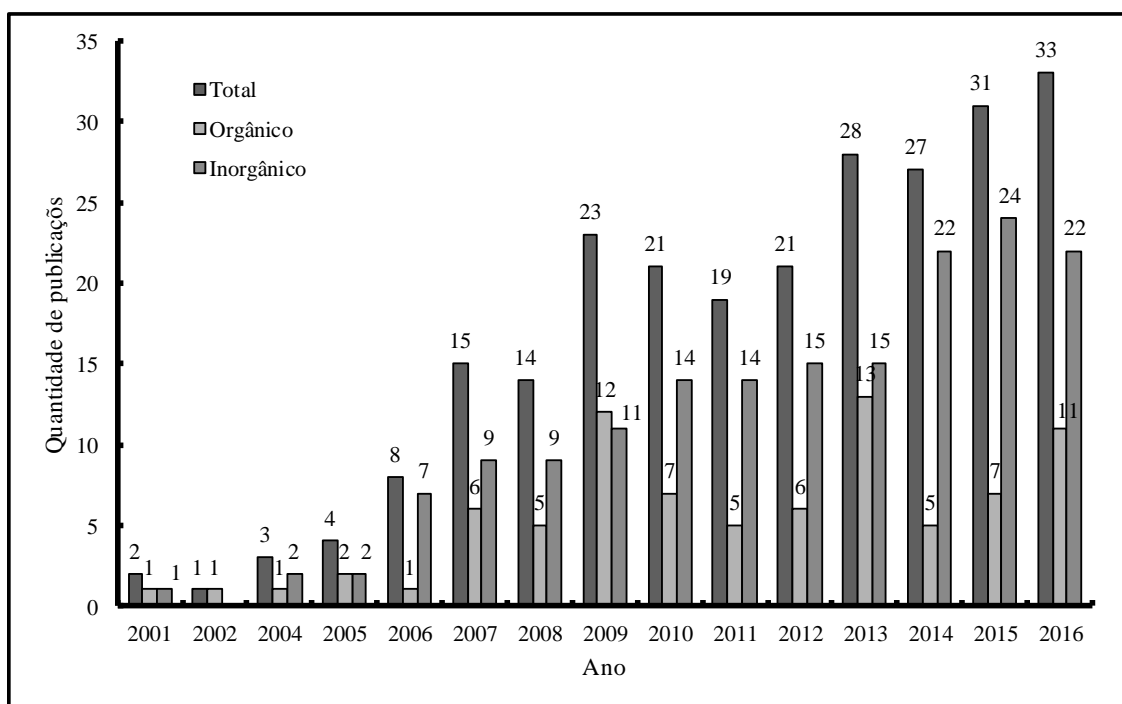


Figura 12. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, na base de dados Scopus, de estudos de autores brasileiros, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.

Foi levantado a quantidade de revistas que publicaram sobre Fitorremediação na base de dados mundial Scopus, com autores do Brasil. No período de 2000 a 2016, a Revista Poluição da Água, do Ar e do Solo e Revista Brasileira de Ciência do Solo publicaram um total de 18 trabalhos (Figura 13). Para ambas as revistas, o maior número de publicações foi nos periódicos que estudaram compostos inorgânicos (13 trabalhos publicados na Revista Poluição da Água, do Ar e do Solo e 12 na revista Brasileira de Ciência do Solo). Assim, o oposto foi encontrado no cenário mundial se comparado às publicações no Brasil. Neste cenário evidencia-se que há uma maior preocupação em solucionar problemas relacionados à contaminação por compostos

inorgânicos que orgânicos, ou ainda, que existem, de fato, maiores problemas na realidade com metais pesados nos setores industrial e agrícola.

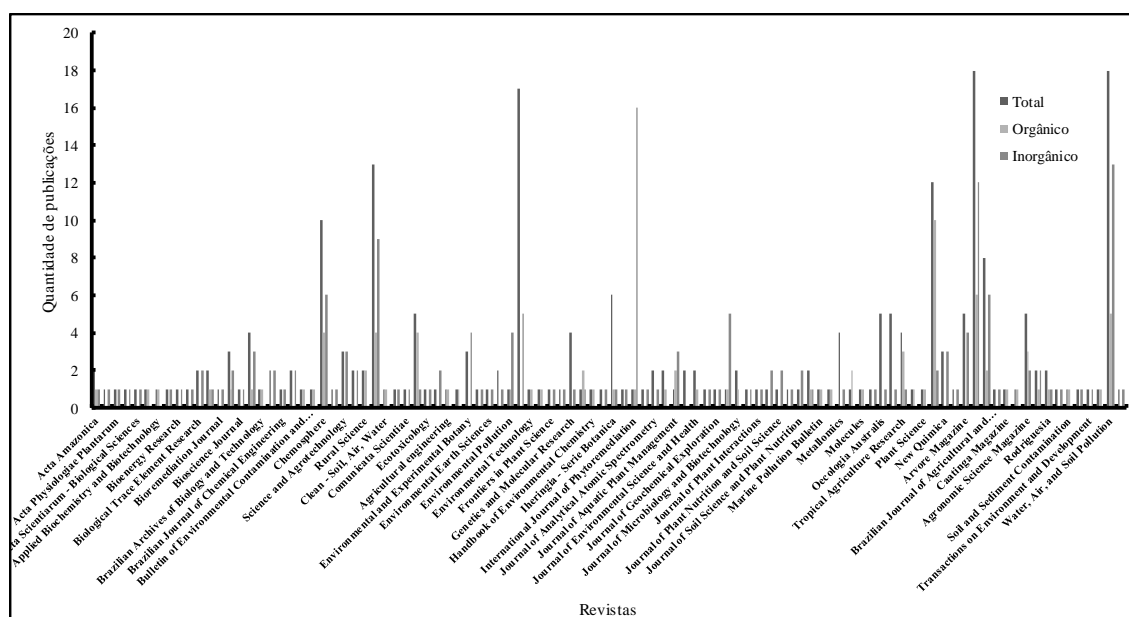


Figura 13. Trabalhos publicados sobre Fitorremediação, por revista, na base de dados Scopus, relacionando a quantidade total, com compostos orgânicos e inorgânicos, entre 2000 e 2016.

Em cenário mundial, de acordo com as revistas buscadas no banco de dados Scopus, com trabalhos de brasileiros, foi levantado a quantidade de revistas e a classificação das mesmas no Qualis Capes, na área de Biodiversidade. Para compostos inorgânicos, a melhor classificação foi com trabalhos publicados em B1, com 22 estudos, seguido por 12 trabalhos foram publicados em B2, 10 trabalhos em categoria A1 e 07 trabalhos em B3 e B4. Apenas 04 estudos não foram classificados. Já para os compostos orgânicos, 14 trabalhos foram publicados com classificação B1 e 07 estudos com classificação B2. Quanto ao Fator de Impacto dos trabalhos publicados sobre Fitorremediação, foi identificadas variações de 0 – 0,99 a 6 – 6,99, com 17 trabalhos com compostos orgânicos e 33 com inorgânicos. A quantidade de trabalhos diminuiu com o aumento deste indicador, o que significa que a classificação por padrões de qualidade está cada vez mais exigente (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação das revistas que publicaram sobre Fitorremediação, na base de dados Scielo, com o Fator de Impacto e Qualis Capes, segregando os trabalhos com compostos orgânicos e inorgânicos.

		FATOR DE IMPACTO						
		<i>Varição</i>						
Compostos		0-0,99	1 - 1,99	2 - 2,99	3 - 3,99	4 - 4,99	5- 5,99	6 - 6,99
<i>Orgânicos</i>		17	12	4	4	2	3	5
<i>Inorgânicos</i>		33	15	11	5	5	3	1

		QUALIS CAPES								
Compostos		A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C	-
<i>Orgânicos</i>		5	6	14	7	6	3	2	0	3
<i>Inorgânicos</i>		8	10	22	12	7	7	1	3	4

Outros países, por serem menos representativos, quando agrupados somaram 53% dos estudos (n = 4159). Observando a análise temporal entre as publicações no Brasil e no Mundo, fica claro que enquanto há tendência global de crescimento significativo ao longo desses 17 anos ($r = 0,96$; $P < 0,05$), ao nível nacional, essa tendência diminui ($r = 0,45$; $P > 0,05$) (Figura 14).

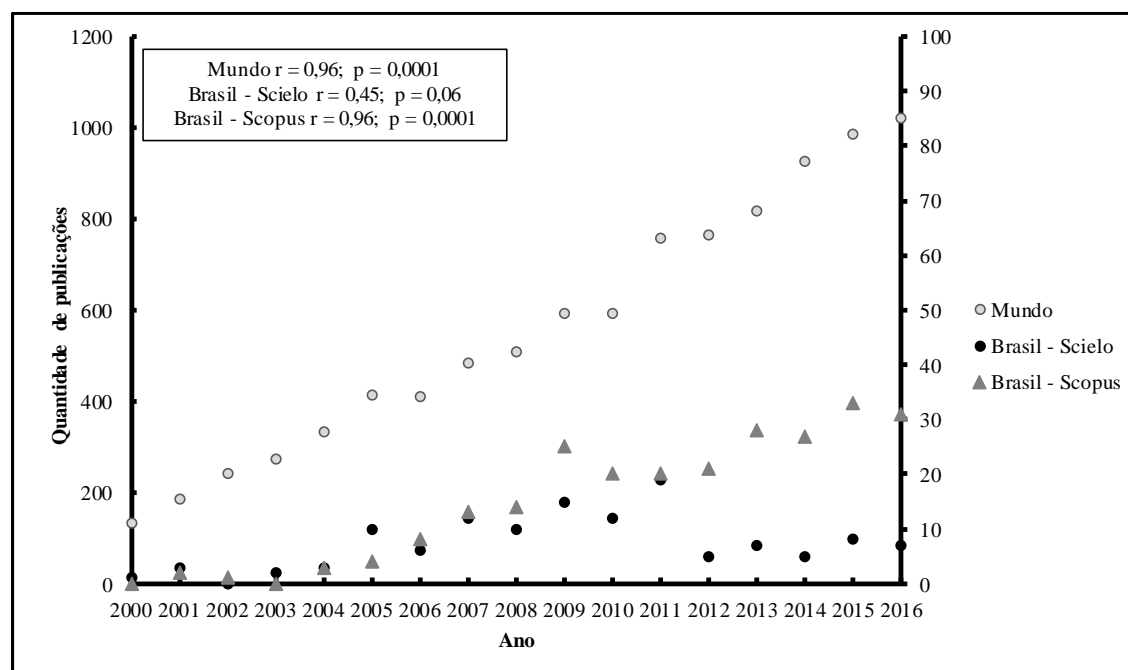


Figura 14. Tendência temporal de estudos científicos sobre Fitorremediação, relacionando os trabalhos publicados no mundo, no Brasil (Scielo) e de brasileiros que publicaram na base de dados mundial (Scopus) no período entre 2000 a 2016.

Conforme figura 15, a maior contribuição de trabalhos com autores brasileiros publicados em relação aos trabalhos publicados no mundo, com tema fitorremediação foi em 2009 (4,22%). Observa-se a dimensão da evolução de estudos realizados com este enfoque e que, apesar do cenário brasileiro ser muito abaixo do esperado se comparado ao Mundo, há uma tendência em maior número de publicações.

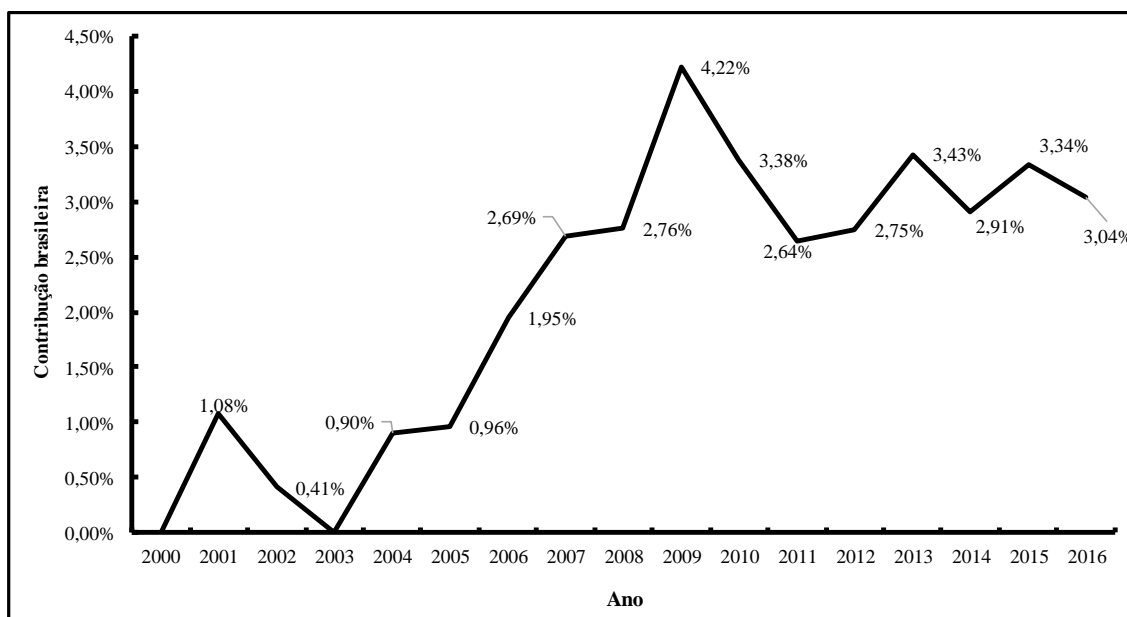


Figura 15. Contribuição brasileira frente a base de dados internacional sobre Fitorremediação, relacionando os trabalhos publicados no mundo (Scopus) e no Brasil (SciELO) publicados entre 2000 a 2016.

Em seguida agrupou-se todos os países para uma avaliação da contribuição científica por continentes, assim foi evidenciado que a maior produtividade científica se concentra na Europa (43% dos estudos), Ásia (35%), América do Norte (9%), América do Sul (9%) e África (4%) (Figura 16).

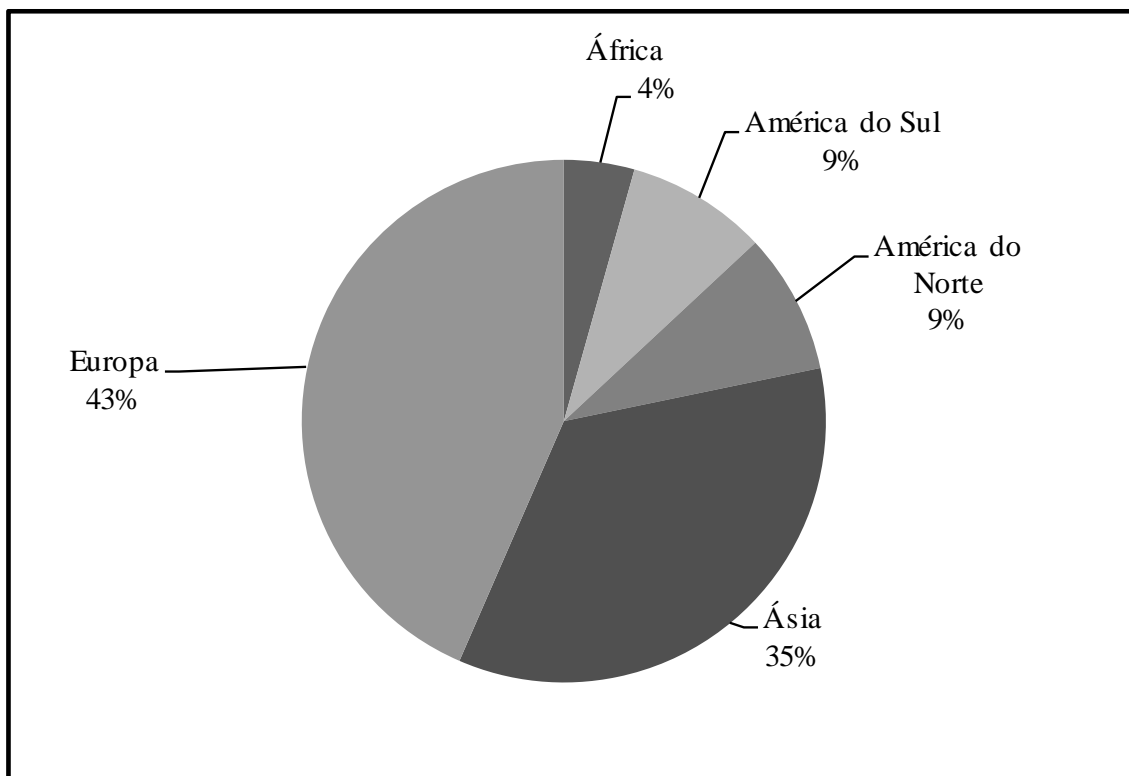


Figura 16. Distribuição geográfica dos estudos realizados sobre Fitorremediação em aspectos globais (n = 7808).

1.4 CONCLUSÕES

Com base na análise temporal entre os estudos sobre Fitorremediação no Brasil e no Mundo, fica claro que enquanto há tendência global de crescimento significativo das publicações no período de 2000 a 2016; em nível nacional, essa tendência diminuiu. A maior produtividade científica se concentra na Europa e Ásia.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Tanto para compostos orgânicos quanto para inorgânicos, houve um aumento expressivo no número de classificação no Qualis capes.
2. A avaliação da tendência temporal de publicações para as vertentes orgânicas e inorgânicas, não demonstrou crescimento significativo das mesmas ao longo dos 16 anos.
3. De acordo com o hábito de crescimento, o maior número de estudos que envolvam a avaliação do potencial de fitorremediação a metais tóxicos foi de espécies herbáceas, seguido por plantas arbóreas, herbáceo estrato graminóide, macrófita aquática, arbustos e fungos micorrízicos arbusculares.
4. Espécies do bioma Cerrado são alvo da maior parte dos testes com Fitorremediação no Brasil, seguido pela Mata Atlântica.
5. Contrastando com as características de publicações brasileiras, no período de 2000 a 2016, houve um aumento progressivo da quantidade de trabalhos no cenário mundial.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL NAGGAR, Y. A., NAIEM, E. A., SEIF, A. I., MONA, M. H.: Honey bees and their products as a bio-indicator of environmental pollution with heavy metals. *Mellifera*, v. 13, p.10–20, 2013.

ALI, H. et al. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*. v.91, n.7, p.869-881, 2013.

BRAUNA, A. B., DA SILVA TRENTINB, A. W., BALESTRINC, D., & THOMÉD, A. *Remediação sustentável: um panorama geral das publicações*. Congresso de engenharia ambiental do Sul do Brasil. 2017.

CAMBROLLÉ, J.; GARCÍA, J. L.; Figueroa, M.E.; Cantos, M. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. *Chemosphere*. v. 120, p. 171-178, 2015.

CHAVES, L. J. *Melhoramento e Conservação de Espécies Frutíferas do Cerrado*. Disponível em: Acesso em: 12 jan. 2018.

CHEN, X. W., TSZ-FUNG WONG, J., MO, W. Y., MAN, Y. B., WANG-WAI NG, C., AND WONG, M. H.: Ecological Performance of the Restored South East New Territories Landfill in Hong Kong (2000–2012), *Land Degrad.* V. 1, p.1–13, 2015.

CHIBUIKE, G. U. AND OBIORA, S. C.: Heavy Metal Polluted Soils: Effect on plants and bioremediation methods, *Appl. Environ. Soil Sci.*, v.12, p. 2014.

DA SILVA, M. A., BÜLL, L. T., MIGGIOLARO, A. E., ANTONANGELO, J. A., & MUNIZ, A. S. Fitodisponibilidade de metais utilizando ácidos orgânicos após sucessiva aplicação de resíduos no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. p. 1287-1295. 2014.

DE OLIVEIRA PROCÓPIO, S., LIMA DO CARMO, M., RIBEIRO PIRES, F., CARGNELUTTI FILHO, A., BRAGA PEREIRA BRAZ, G., PERES SILVA, W. F & PEREIRA PACHECO, L. Efeito da densidade populacional de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram. *Semina: Ciências Agrárias*. V. 30, p. 2. 2009.

FRANCO, A. C. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. *Ministério do Meio Ambiente*, p. 179- 196. 2005.

GHONEIM, A. M., AL-ZAHRANI, S., EL-MAGHRABY, S., AND AL-FARRAJ, A.: Heavy metal distribution in *Fagonia indica* and *Cenchrus ciliaris* native vegetation plant species, *J. Food Agric. Environ.*, v. 12, p. 320–324, 2014.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília: Ed. da UnB/Sematec, p. 321-344 1994.

HEIDERSCHIEDT, D., PEREIRA, J., BURGHARDT, J. E., DA SILVA, L. A., & DE OLIVEIRA, S. C. Conceitos aplicados à poluição do solo decorrente do derrame de petróleo e seus derivados. *Maiêutica-Gestão Ambiental*, v. 4, p.1, 2016.

HERKLOTZ, P.A, GURUNG, P., HEUVEL, B.V., KINNEY, C.A. Uptake of human pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions. *Chemosphere*. V.78, p. 1416-1421. 2010.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? *Pesticidas ecotoxicol. e meio ambiente*, v. 17, p. 9-18. 2007.

LEQUEUX, H.; HERMANS, C.; LUTTS, S.; VERBRUGGEN, N. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. *Plant Physiology and Biochemistry*. v. 48, p. 673-682, 2010.

LI, X. L., GAO, J., BRIERLEY, G., QIAO, Y. M., ZHANG, J., AND YANG, Y. W.: Rangeland degradation on the Qinghai–Tibet Plateau: implications for rehabilitation, *Land Degrad*, v. 24, p. 72–80, 2013.

MEYER, S. T., CASTRO, S. R., FERNANDES, M. M., SOARES, A. C., DE SOUZA FREITAS, G. A., & RIBEIRO, E. Heavy-metal-contaminated industrial soil: Uptake assessment in native plant species from Brazilian Cerrado. *International journal of phytoremediation*. v. 18, n. 8, p. 832-838, 2016.

MORGAN, R.: Soil, heavy metals, and human health, in: Soils and human health, edited by: Brevik, E. C. and Burgess, L. C., Boca Raton, FL, USA, CRC Press, p.59–82, 2013.

MMA, *Ministério do Meio Ambiente*. Guia de campo: vegetação do Cerrado 500 espécies. Brasília: MMA/SBF, 532p. 2011.

MOOSAVI, S. G.; SEGHATOLESLAMI, M. J. Phytoremediation: A Review. *Advance in Agriculture and Biology*. v.1, n.1, p.5-11, 2013.

PIERRO, B. *Ciência em evolução*. Pesquisa FAPESP, v. 222, p. 32–35, 2014.

PIMENTEL, V. P., VIEIRA, V. A. M., MITIDIERI, T. L., OLIVEIRA, F. F. S., & PIERONI, J. P. Biodiversidade brasileira como fonte da inovação farmacêutica: uma nova esperança? *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 43, p. 41-89. 2015.

PROCÓPIO, S. O., PIRES, F. R., SANTOS, J. B., & SILVA, A. A. Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas. *Aracaju: Embrapa*, 32p. 2009b. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/doc_156.pdf>. Acesso em: 17 Jan. 2018.

RIZZO, E.; BARDOS, P.; PIZZOL, L.; CRITTO, A.; GIUBILATO, E.; MARCOMINI, A.; ALBANO, C.; DARMENDRAIL, D.; DÖBERL, G.; HARCLERODE, M.; HARRIES, N.; NATHANAIL, P.; PACHON, C.; RODRIGUEZ, A.; SLENDERS, H.;

SMITH, G. Comparison of international approaches to sustainable remediation. *Journal Of Environmental Management*, v. 184, p.4-17. 2016.

SILVA, E. C. *Uma síntese dos estudos com fitorremediação nos últimos anos (1991-2014)*. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS - Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Goiás. 2016.

SOUZA, E. P. D.; SILVA, I. D. F. D.; FERREIRA, L. E. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. *Current Agricultural Science and Technology*. v. 17, p.167, 2013.

SUN, X.C., WEI, H., XIE, X.H., JIA, Z.M., MENG, X.F. Bioaccumulation and photosynthesis response of *Salix variegata* to cadmium under hydroponic culture. *Res Environ Sci*, v. 25, pp. 220 – 225, 2012.

SZCZYGLÓWSKA, M., PIEKARSKA, A., KONIECZKA, P., NAMIEŚNIK, J. Use of Brassica plants in the phytoremediation and biofumigation processes *Int. J. Mol. Sci.*, v. 12, p. 7760-7771. 2011.

