



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do
Cerrado

EUDES CAMPELO DA SILVA

Uma síntese dos estudos com fitorremediação nos últimos anos
(1991-2014)

Anápolis

2016

EUDES CAMPELO DA SILVA

**Uma síntese dos estudos com fitorremediação nos últimos anos
(1991-2014)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador (a): Prof. (a) Dr. (a): Fernanda de Melo Carneiro

Anápolis

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

SILVA, Eudes Campelo da.

Uma síntese dos estudos com fitorremediação nos últimos anos (1991-2014) / Eudes Campelo da Silva. – 2016.

40f.: figs, tabs.

Orientador (a): Prof. (a) Dr. (a): Fernanda de Melo Carneiro

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, 2016.

Bibliografia.

1. Cienciometria. 2. Fitorremediação. 3. Poluição. 4. Plantas. I. Título

EUDES CAMPELO DA SILVA

UMA SÍNTESE DOS ESTUDOS COM
FITORREMEDIAÇÃO NOS ÚLTIMOS ANOS
(1991-2014)

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 11 de fevereiro de 2016, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Dr. Fernanda Melo Carneiro
Presidente da Banca
Universidade Estadual de Goiás



Prof. Dr. Leonardo Luiz Borges
Membro externo
Pontifícia Universidade Católica de Goiás



Prof. Dr. João Carlos Nabout
Membro interno
Universidade Estadual de Goiás

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, José Campelo da Silva (*in memoriam*), que foi sempre um exemplo, um incentivo para o crescimento como ser humano e profissional...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por sempre estar comigo nas melhores e piores horas de minha vida sempre me dando forças para sim poder superar todos os desafios que nessa vida encontro.

A minha família que me apoiou e é sempre um alicerce para minha vida.

A colaboração, amizade e incentivo de inúmeras pessoas para a concretização deste trabalho, que direta ou indiretamente compartilharam comigo os momentos de elaboração deste trabalho.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado pelo apoio, companheirismo e acolhimento.

As professoras Fernanda Melo Carneiro e Samantha Salomão Caramori, que me incentivaram no programa e me deram a oportunidade de buscar meus objetivos, guiando-me e dando o suporte necessário a conclusão deste trabalho.

Ao programa por todos os amparos para desenvolvimento do projeto.

A Secretaria da Educação Cultura e Esporte do Estado de Goiás pela concessão da licença para aprimoramento profissional.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS E METAS	12
3. METODOLOGIA	13
a. Coleta e quantificação da literatura	13
b. Análise dos dados	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

RESUMO

Com o aumento da preocupação com a questão ambiental surgiu a necessidade de propor novas formas de controle e recuperação do meio ambiente. Entre as diversas ferramentas para se diminuir os contaminantes no meio ambiente, a biorremediação se destaca por ser viável e promissora. Nesse contexto, a fitorremediação, que é uma técnica de biorremediação tem sido amplamente usada. Essa técnica tem como função acumular, transformar, degradar e/ou estabilizar um contaminante. Assim, com o objetivo de identificar as principais tendências e focos dos estudos sobre fitorremediação, como o tipo de plantas, poluentes, locais e ambientes mais estudados, o presente trabalho fez uma análise cienciométrica sobre a fitorremediação utilizando a base de dados Thomson ISI na Coleção Principal do *Web of Science* entre 1991 a 2014. Ocorreu uma forte tendência de crescimento dos artigos relacionados a fitorremediação durante o período analisado. Nos quatro últimos anos foram identificados mais de 500 artigos por ano. Países como a Índia e Espanha que não estão na vanguarda da produção científica mundial apresentaram um alto destaque nas publicações sobre fitorremediação. Assim como observados em outros trabalhos cienciométricos, também identificamos um forte decréscimo temporal no número de artigos com um único autor. A maioria dos trabalhos foram produzidos por 4 autores. Ocorreu uma grande diversidade de espécies de plantas nos estudos, entretanto, a maioria dos trabalhos estão concentrados em plantas muito bem estudadas como *Brassicacac sp.*, *Salix sp.* e *Populus sp.* Essas plantas foram utilizadas no controle dos mais diversos contaminantes. O conhecimento das plantas em seus mais diferentes aspectos como genética, evolução e fisiologia são imprescindíveis para seu uso na fitorremediação. Assim, diante da grande diversidade de plantas conhecida, provavelmente o estudo mais aprofundado desses aspectos para diferentes espécies implique na descoberta de novas plantas com potencial uso em fitorremediação. Identificamos ainda a necessidade em se produzir estudos que envolvam a poluição do ar, visto que os mesmos em número absolutos foram escassos.

Palavras-Chaves: Biorremediação; Plantas; *Brassicacac sp.*; *Salix sp.*; *Populus sp.*; Poluição.

ABSTRACT

From the increase of the concern with the environmental problems emerged the need to propose new forms of control and recovery of the environment. Among the various tools to reduce the contaminants in the environment, the bioremediation stands out by be viable and promising. In this context, the phytoremediation that is a technique of bioremediation has been widely used. This technique has the function to accumulate, transform, degrade and/or stabilize a contaminant. Thus, in order to identify key trends and focus of studies on phytoremediation, such as knowledge the plants, pollutants, places and environments more studied, this paper made a scientometric analysis of phytoremediation using the database Thomson ISI in the Web of Science between 1991-2014. There was a strong growth trend of articles related to phytoremediation over the analysis period. In the last four years were identified more than 500 articles a year. India and Spain are not in the forefront on global scientific production, but showed a high number of phytoremediation publications. As observed in other scientometric work also identified a strong temporal decrease in the number of articles with a single author. Groups of four authors produced most of articles. There was a great diversity of plant species in the studied; however, most articles are concentrated in plants very well studied as *Brassica* sp., *Salix* sp. and *Populus* sp. These plants were used in the control of various contaminants. Knowledge of plants in their different aspects such as genetics, evolution and physiology are essential for their use in phytoremediation. Thus, given the great diversity of plants known, probably the most in-depth study of these aspects will involves the discovery of new plants with potential use in phytoremediation. Also identified the need to produce studies involving air pollution, since the same in absolute numbers were scarce.

Keywords: Bioremediation; Plants; *Brassica* sp.; *Salix* sp.; *Populus* sp.; Pollution.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da preocupação ambiental surgiu a necessidade de se propor novas formas de controle e recuperação do meio ambiente. Somado a isso, ocorreu um aumento do investimento de empresas em programas ambientais (NOSSA, 2002), pois medidas que diminuam o impacto causado por empreendimentos estão previstas na legislação de inúmeros países (ESPINDOLA, 2005). Assim, a qualidade e a quantidade de áreas degradadas recuperadas estão aumentando nos últimos trinta anos (SOUZA, 2004). Entre as diversas ferramentas para se diminuir os contaminantes no meio ambiente, a biorremediação se destaca por ser viável e promissora, especialmente na recuperação de solos contaminados por petróleo e seus derivados (RAHMAN et al., 2002; ANDRADE, AUGUSTO, JARDIM, 2010; LEONEL et al., 2010).

A biorremediação consiste na biodegradação de poluentes através da utilização de alguma tecnologia. Os processos de biorremediação do solo são influenciados principalmente pelas bactérias, fungos filamentosos e leveduras que podem ser nativos ou cultivados (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). É uma técnica aplicada a diferentes tipos de ambientes e envolve diversas áreas de conhecimento humano como a Microbiologia, Engenharia, Ecologia, Geologia e Química (MUTECA, 2012). Os primeiros estudos sobre biorremediação tinham enfoque apenas na degradação de matéria orgânica, comum em resíduos domésticos destinados a lixões e aterros sanitários. Recentemente, esses estudos têm como alvo compostos químicos variados com elevado potencial de toxidez (BRITO FILHO, 2005).

Vidali, (2001) menciona que as estratégias de biorremediação dividem-se em três grupos: a) *In situ* – o processo ocorre no próprio local da poluição, em que pode usar as técnicas: biorremediação *in situ*, *biosparging*, bioventilação e bioaumentação; b) *Ex situ* – alteração ou remoção do local contaminado, identificado pelas técnicas de *landfarming*, compostagem e biopilhas; c) Biorreatores – são sistemas onde acontecem reações ou processos biológicos, sendo classificados como biorreatores de lama ou de fase aquosa. Além das técnicas citadas acima, atualmente, novas técnicas estão sendo incorporadas como a bioestimulação em que há adição de nutrientes (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010) e a eletrobiorremediação, técnica recente, que aumenta a biodisponibilidade combinando a biorremediação com a eletrocinética (ACUÑA et al., 2010; BAZTAN, PUCCI, PUCCI, 2014; MARTÍNEZ-PRADO, UNZUETA-MEDINA, PÉREZ-LÓPEZ, 2014). A Fitorremediação também é uma técnica de biorremediação emergente usada para remover contaminantes do solo e água.

O termo “fitorremediação” é utilizado desde 1991 e baseia-se na utilização de plantas como acumuladoras, transformadoras, degradadoras ou estabilizadoras do contaminante no solo

(VIDALI, 2001) e dos organismos associados as plantas (PROCÓPIO et al., 2009), destacando como principais fitotecnologias: Fitoextração: absorção do contaminante pela planta; Fitoacumulação: armazenamento nas estruturas da planta sem modificação nas moléculas; Fitodegradação – transformação do contaminante em formas menos tóxicas ou atóxicas nas suas estruturas; Fitovolatilização – transformação do contaminante a uma forma volátil liberada para a atmosfera; Fitoestimulação – estimula a concentração ou ativação da comunidade microbiana apta a biodegradar um contaminante; Rizodegradação – biodegradação pela comunidade microbiana associada as raízes; Rizovolatilização – volatilização de um contaminante rizotransformado; Rizoestabilização – inativação do contaminante no solo por meio da imobilização, lignificação ou humificação; Barreiras hidráulicas – árvores com raízes profundas absorvem grandes quantidades de água do solo sendo os contaminantes degradados, volatilizados ou aprisionados na estrutura da planta; Açudes Artificiais – ecossistema formado pelo conjunto solo, micro-organismos e plantas aquáticas para o tratamento de efluentes (GRATÃO et al., 2005; PROCÓPIO et al., 2009).

A uma diversidade de trabalhos na fitorremediação de ambientes visando a descontaminação, as plantas utilizadas nesse processo possuem maneiras específicas de remoção, imobilização ou transformação desses poluentes. Dessa forma, a avaliação da interação entre ambiente, planta e poluente é promissor. Nesse sentido há a necessidade que mais estudos sejam feitos de forma a avaliar a capacidade fitorremediadora das plantas e sua provável utilização (COUTINHO e BARBOSA, 2007). Diante do promissor uso de técnicas de fitorremediação para solucionar parte dos problemas ambientais e consequente envolvimento da comunidade científica (BLACK, 1995; CUNNINGHAM e OW, 1996; BARCELÓ e POSCHENRIEDER, 2003), esse trabalho se propõe a verificar as tendências dos estudos sobre fitorremediação. Para tanto, faremos um estudo cienciométrico, caracterizando alguns aspectos quantitativos e qualitativos de tais trabalhos.

A cienciométrica teve origem por volta do ano de 1960, é conhecida como a pesquisa quantitativa da produção científica através do desenvolvimento de metodologias para a avaliação da atividade científica e tecnológica (FERREIRA et al., 2014). Ficou conhecida a partir do final da década de 1970 com uma publicação na revista “Scientometrics”, na Hungria (LIMA-RIBEIRO et al., 2007). Com ela pode-se avaliar diversos aspectos na literatura científica e caracterizar quantitativamente tais trabalhos (MACIAS-CHAPULA, 1998; NABOUT et al., 2012). A cienciométrica já foi usada por diversas áreas do conhecimento com o intuito de diagnosticar as tendências da literatura, como por exemplo, trabalhos sobre ecologia (PINTO, BINI, DINIZ-FILHO, 2002; BINI et al., 2005; FAZEY, FISCHER,

LINDENMAYER, 2005; MELO, 20 BINI, CARVALHO, 2006; LIMA-RIBEIRO et al., 2007; BITTENCOURT e PAULA, 2012; BORGES et al., 2014), mudanças climáticas (STANHILL, 2001; NABOUT et al., 2012), grupos de organismos (NABOUT, BINI, DINIZ-FILHO, 2010, CARNEIRO, NABOUT, BINI, 2008; PADIAL, BINI, THOMAZ, 2008), estudos genéticos (QUIXABEIRA; NABOUT; RODRIGUES, 2009), plantas medicinais (CARNEIRO *et al.*, 2014) e tendência dos autores (ABT 2007a, b; NABOUT et al., 2015)

A cienciometria é considerada uma técnica quantitativa de avaliação da propagação do conhecimento científico e o fluxo da informação sob diversos enfoques (LIMA-RIBEIRO et al., 2007). Indicadores originários da bibliometria, como frequência de artigos na base de dados e o fator de impacto são algumas das ferramentas da cienciometria (YAMAMOTO; SOUZA; YAMAMOTO, 1999). Um exemplo é a análise de citações que é um método mundialmente conhecido de avaliação da qualidade de publicações científicas (STREHL e SANTOS, 2002) bem como para identificar as tendências e o desenvolvimentos da ciência utiliza-se outras técnicas cienciométricas (SPINAK, 1998). Os seus resultados são importantes para os pesquisadores no entendimento do mecanismo da pesquisa científica com atividade social provocando uma maior visibilidade dos dados da pesquisa (AKERMAN, 2013). Dessa forma áreas que precisam de mais atenção (e.g.: poucas publicações) são identificadas por meio da cienciometria (LAURINDO e MAFRA, 2010). Um destaque atual para a cienciometria é a sua utilização na elaboração de políticas públicas, tanto para tomada de decisão e no incentivo à geração de informações de cunho técnico permitindo um desenvolvimento de fato sustentável (BITTENCOURT e PAULA, 2012).

2. OBJETIVOS E METAS

O respectivo trabalho teve como objetivo identificar as principais tendências e focos dos estudos sobre fitorremediação para determinar o conhecimento científico atual sobre fitorremediação, bem como direcionar futuras pesquisas sobre o tema. Para tanto, as pesquisas com fitorremediação na base de dados Thomson – ISI foram quantificadas e caracterizadas de forma sistematizada. Especificamente, este trabalho avaliou algumas métricas cientiométricas nos artigos analisados como número de citações, número de autores, fator de impacto das revistas. Além disso, investigou se a tendência temporal desses estudos, a tendência de artigos com único autor; os agentes contaminantes e os tipos de poluição tratadas nos trabalhos como poluição do ar, água ou solo ou mesmo a sobreposição desses ambientes de forma a favorecer um diagnóstico da disponibilidade para diversos usos da fitorremediação. Foram identificados os artigos e autores com maior relevância sobre tema. Assim como os países com maior número de produção e os fatores socioeconômicos que podem determinar essa produção. Investigou-se também a associação entre os tipos de contaminantes e as plantas utilizadas na fitorremediação para verificar as associações mais utilizadas.

3. METODOLOGIA

a. Coleta e quantificação da literatura

Foram selecionados todos os artigos que continham a palavra “*Phytoremediation**” no título, resumo ou na lista de palavras-chaves no período de 1991 a 2014 na Principal Coleção do *Web of Science* da base de dados Thomson-ISI. Para cada artigo coletou-se o ano de publicação, país da instituição do primeiro autor, número de citações, número de autores, nome das revistas, palavras-chaves. Para a quantificação de artigos por ambiente foi utilizada a associação do termo de busca “*Phytoremediation**” aos termos AND “*water*”, AND “*soil*”, AND “*air*”, AND (“*water*” AND “*soil*”), AND (“*water*” AND “*air*”) e AND (“*soil*” AND “*air*”) para exclusão dos ambientes que não se queria na pesquisa acima foi acrescentado o NOT mais o ambiente na filtragem.

b. Análise dos dados

Para a análise temporal dos artigos sobre fitorremediação o número de artigos foi correlacionado ao ano de produção através de uma análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$). Outras tendências temporais na produção dos artigos sobre fitorremediação também foram analisadas através da correlação de Pearson como tendência de artigos com um único autor e tipo de ambiente utilizado nos trabalhos de fitorremediação ao longo dos anos (ex.: água, ar, solo, água e ar, água e solo, ar e solo). Para verificar as diferenças nas tendências temporais dos estudos com fitorremediação entre os tipos de ambientes abordados nos estudos, fizemos um teste t de *Student* ($p < 0,05$) com aleatorização de Monte Carlo que exige a necessidade de normalidade dos dados (MANLY, 1997). Foi realizada uma ponderação para os trabalhos por número de autores, calculando a porcentagem de artigos publicados sobre fitorremediação para cada ano por número de autores.

Para identificar os principais determinantes da produção científica dos países, foi feita uma análise de regressão múltipla entre o número de artigos publicados sobre fitorremediação em cada país e os respectivos PIB (Produto Interno Bruto), Número de Universidades por país, renda *per capita*, IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e a emissão de CO₂ *per capita*. Os modelos foram comparados utilizando Critério de Informação de Akaike (AIC). Segundo esse critério, os melhores modelos possuem os menores valores de Δ AIC, valores de Δ AIC < 2 são considerados bons modelos (BURNHAM e ANDERSON, 2004). As variáveis preditoras do número de artigos por país consideradas foram: PIB (em dólares) (FMI, 2015), RPC – Renda *per capita* (em dólares) (FMI, 2015), Uni. – Número de Universidades por país (WEBOMETRICS, 2015), IDH – Índice de Desenvolvimento Humano (PNUD) e CO₂ –

Emissão de CO₂ *per capita* (*The World Bank, 2015*). As análises foram realizadas no *software* R (R, 2015) utilizando os pacotes *vegan* e *VennDiagram*, Anacor.

Para verificar os assuntos de maior relevância para comunidade científica sobre fitorremediação analisamos os 15 artigos mais citados. Além disso, com intuito de medir a qualidade dos artigos sobre o tema, avaliamos o fator de impacto das revistas que mais publicaram artigos sobre fitorremediação.

As palavras-chaves são importantes elementos de representação do conteúdo dos artigos (GONÇALVES, 2008). Com uso das palavras-chave selecionamos as espécies de plantas utilizadas nos estudos sobre fitorremediação, depois essas espécies foram enquadradas em suas respectivas famílias botânicas.

Primeiramente, foram selecionadas as plantas e os respectivos contaminantes utilizados em cada artigo, depois com intuito de resumir essa informação, foram conservadas apenas as 20 plantas mais frequentes nos estudos e os contaminantes foram agrupados em grandes grupos. Depois, com as plantas (variável descritora) para cada grupo de contaminante (variável resposta), foi feita uma Análise de Correspondência (CA; LEGENDRE e LEGENDRE, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados 5913 artigos sobre fitorremediação no período de 1991 a 2014 na Principal Coleção do *Web of Science*. Observamos uma tendência fortemente positiva ($r = 0,98$ e $p < 0,001$) no crescimento de publicações sobre fitorremediação durante o período (Figura 1). O aumento no número de estudos com fitorremediação observado era uma expectativa comum a outros trabalhos, pois a fitorremediação consiste em uma técnica nova estando em fase de experimentação de novas aplicações (BLACK, 1995; CUNNINGHAM e OW, 1996; BARCELÓ e POSCHENRIEDER, 2003). Os artigos englobam o período de 1991 a 2014, entretanto, a primeira publicação só ocorreu em 1993. A média anual de publicações sobre o tema foi de 268 artigos, mas quando observamos os últimos 4 anos o número de artigos publicados está bem acima dessa média (> 500 artigos/ano). O que pode ser um indicativo do sucesso dessa técnica. Ademais, o crescimento das publicações com fitorremediação é justificado, uma vez que, para degradação de inúmeros poluentes inorgânicos muitas vezes é requerido a atividade de um mediador biológico como as plantas e micro-organismos associados a região das raízes (ALGUACIL e MERINO, 1998). Dessa forma, a imobilização, mobilização ou transformações de contaminantes inorgânicos via bioacumulação (NASCIMENTO e XING, 2006), biosorção, oxidação e redução, metilação (PILON-SMITS e LEDUC, 2009) dentre outras formas é mediado pela ação das plantas.

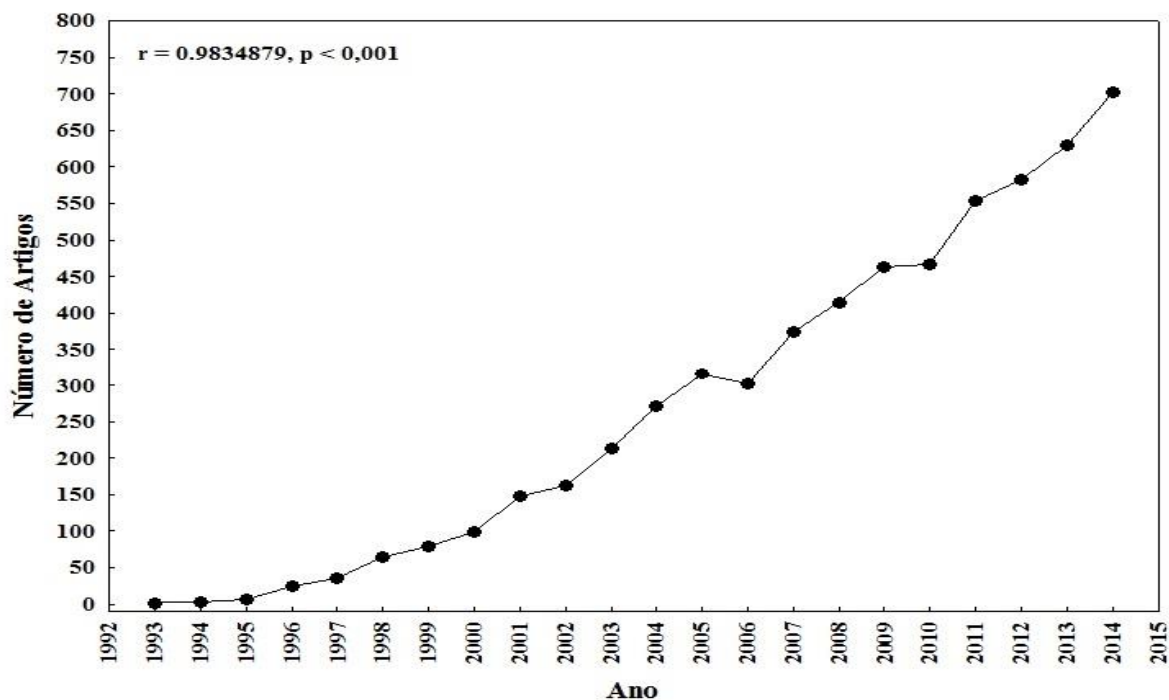


Figura 01 – Número de artigos publicados na base de dados Thomson – ISI com a palavra “phytoremediation*” no resumo, título e palavras-chaves no período de 1991-2014 ($r = 0,9834879$ e $p < 0,001$).

O EUA ocupou o primeiro lugar no número de artigos sobre fitorremediação (Tabela 1). Os inúmeros trabalhos realizados por autores norte-americanos como evidenciado nesse estudo é um reflexo presente em outras áreas do conhecimento devido ao investimento local na pesquisa e infraestrutura (MAY, 1998). Os trabalhos científicos estão frequentemente centralizados em países industrializados para a maioria das áreas do conhecimento (JAPPE, 2007), desse modo, a América do Norte e determinados países europeus são os grandes centros produtores do 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 (Tabela 1), uma possível explicação para o maior número de trabalhos nesses países sobre fitorremediação se deve ao aumento da atividade poluidora dos mesmos (entretanto, ver Tabela 3). Em um período em que existe uma preocupação global em se reduzir as emissões de CO₂ (ver relatório “*Trends in global CO₂ emissions 2014 report*”) a Índia teve um crescimento de 0,7 para 2,07 bilhões de toneladas de CO₂ de 1990 a 2013 um aumento da ordem de mais de 200% enquanto que a população aumentou em apenas 44% (OLIVIER et al., 2014). A Índia é um dos dez países que contribuem com dois terços (21 bilhões) da emissão de CO₂ no mundo, ficando atrás apenas da China e dos EUA no ranque de 2012 tendo como base da sua fonte energética o carvão (IEA, 2014a). A Espanha foi o país da União Europeia que mais aumentou a taxa de poluição passando de 250 para 266 milhões de toneladas de CO₂ enquanto que outros países com alto grau de emissão diminuíram, o caso da Alemanha que diminuiu a emissão de 949 para 755 milhões de toneladas de CO₂ e o Reino Unido de 549 para 457 (IEA, 2014b).

O Brasil é o único país da América Latina a ter destaque entre os vinte países do ranking da produção científica global, estando na décima quinta posição (scimagojr.com/countryrank.php) e, considerando os estudos com fitorremediação também foi o único país da América Latina em destaque (Tabela 1). As publicações brasileiras têm-se destacado devido as políticas de incentivo na área de pesquisa no período estudado (PIERRO, 2014). Entretanto, desde o ano de 2013 tem havido um decréscimo nos financiamentos. Para o ano de 2016 será reduzido 24% do investimento para o Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação o que acarretará na redução de fomento em pesquisa pelo principal órgão brasileiro atrasando pesquisas em andamento ou que estariam para começar, o que provavelmente deverá ser percebido na futura produção científica brasileira (GIBNEY, 2015).

Tabela 1 – Tendência Temporal de artigos sobre fitorremediação no mundo e pelos 20 países que mais publicaram sobre o tema e a posição desses países nas publicações científicas sobre fitorremediação e sobre produção científica de forma geral.

País	Número de Artigos	Tendência Temporal (r)	Fitorremediação (Posição)	Mundial (Posição)
Mundo	5913	0,9834879*	-	-
EUA	1294	0,70*	1	1
China	1096	0,97*	2	2
Índia	418	0,93*	3	9
Espanha	339	0,92*	4	10
Reino Unido	277	0,65*	5	3
Itália	266	0,92*	6	8
Alemanha	243	0,81*	7	4
França	232	0,91*	8	6
Japão	216	0,60*	9	5
Canadá	192	0,81*	10	7
Brasil	192	0,94*	11	15
Austrália	178	0,79*	12	11
Polônia	155	0,93*	13	19
Coreia do Sul	121	0,94*	14	12
Turquia	97	0,87*	15	20
Suíça	86	0,48	16	16
Rússia	65	0,71*	17	13
Holanda	52	0,71*	18	14
Taiwan	49	0,82*	19	17
Suécia	46	0,31	20	18

Fonte: Web of Science; <scimagojr.com/countryrank.php>; do autor, 2015. O asterisco (*) indica o valor de r significantes.

As variáveis socioeconômicas apresentaram um alto poder de predição para o número de publicações por país. Segundo o critério de Akaike, as variáveis que melhor explicaram a produção de artigos sobre o tema entre os países foram o PIB e a emissão de CO₂ com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,911$. A variável PIB esteve presente nos melhores modelos ($\Delta AIC < 2$; BURNHAM e ANDERSON, 2004) apresentados (Tabela 2).

TABELA 02 – Resultado dos 3 melhores modelos gerados para identificar o conjunto ou o fator socioeconômico que melhor explica o número de trabalhos por país. As variáveis descritoras consideradas foram o PIB (trilhões de dólares); Número de Universidades (Uni); Renda *per capita* (dólares) (*per capita*); IDH; Emissões de CO₂ *per capita* (*metric tons per capita*) (CO₂).

Variáveis*	R ²	AIC	Δ AIC
PIB, CO ₂	0,911	249,969	0
PIB	0,889	251,274	1,305
PIB, <i>per capita</i>	0,904	252,402	1,433

Fonte: do autor, 2015.

Através da análise do coeficiente de regressão foi possível verificar que o Produto Interno Bruto apresentou coeficiente angular fortemente positivo (0,98), dessa forma pode-se afirmar que países com maior número de estudos, são os países que apresentam maior PIB (Tabela 3), o mesmo podendo ser visto em trabalhos de Nabout, Bini, Diniz-Filho (2010) e Marcionilio et al (2015). Esta variável explica a soma da riqueza produzida por diversos setores da economia que são motivados pelo desenvolvimento tecnológico que por sua vez é impulsionado pelo desenvolvimento científico (MARCIONILIO et al 2015). Outro ponto de destaque é a importância da variável CO₂, observa-se um coeficiente angular negativo (-0,156), ou seja, os países com maior número de publicações tendem a ter menores percentuais de emissão.

TABELA 3 - Seleção de modelos evidenciando para cada variável utilizada, a importância da variável na produção de artigos, o coeficiente de regressão padronizado considerando todos os modelos e o coeficiente de regressão padronizado considerando somente o melhor modelo.

Variável	Importância	Coefficiente Angular
PIB	1	0,989
CO ₂	0,534	-0,156
<i>Per capita</i>	0,335	-0,119
IDH	0,231	0,079
Uni	0,181	0,099

Fonte: do autor, 2015.

Observamos um forte decréscimo temporal (Figura 2) do número de artigos com único autor nos trabalhos com fitorremediação ($r = -0.47$, $p < 0,05$). Essa mesma tendência já foi identificada em inúmeros trabalhos cienciométricos (ABT, 2007b; WHITFIELD, 2008; NABOUT et al., 2015). A maioria dos artigos produzidos sobre fitorremediação foram produzidos por mais de um autor. Somente 3,02% dos artigos possuem um único autor e 21% desses trabalhos tiveram a participação de 4 autores. Os maiores valores de correlação positiva (Figura 2) ao longo dos anos foram observados para artigos com mais de 6 autores ($r > 0,5$). Os

trabalhos com fitorremediação exigem uma natureza multidisciplinar por abranger diversas áreas do conhecimento como biologia, química, bioquímica e matemática. Artigos com vários autores não envolve apenas recurso humano, mas também pode envolver diversas instituições de diferentes áreas e suas estruturas (LEIMU e KORICHEVA, 2005; HSU e HUANG, 2011). Em trabalhos com múltiplos autores, os participantes do projeto precisam entrar em acordo sobre a pesquisa, definição, metas, atribuições, tarefas e entendimento de conceitos e metodologias (VANZ e STUMPF, 2010). Outros fatores como a comunicação informal, proximidade cultural, excelências acadêmicas, investimento de fundo externo e níveis de desenvolvimento tecnológico desempenham papéis significativos na determinação dos modos de colaboração específica (JEONG; CHOI; KIM, 2011).

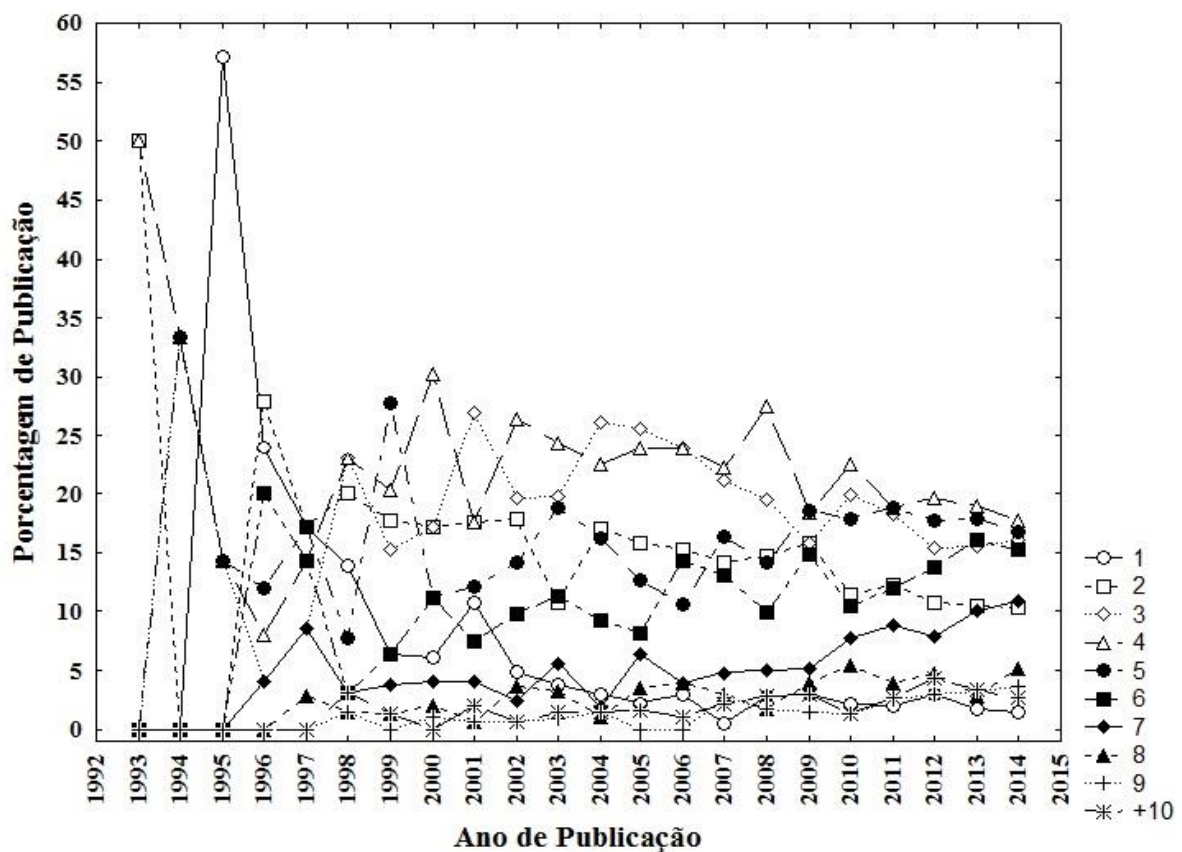


Figura 2 – Tendência temporal do número de artigos produzidos por um único autor até dez ou mais autores. Para a padronização o número de artigos de cada ano foi dividido pelo total de artigos do mesmo ano sobre fitorremediação. Estes valores foram, então, multiplicados por 100. Coeficientes de Correlação para número de autores: 1 $r = -0.472668$, $p < 0,05$; 2 $r = -0.3249769$, $p > 0,05$; 3 $r = 0.184643$, $p > 0,05$; 4 $r = -0.2728097$, $p > 0,05$; 5 $r = 0.1379676$, $p > 0,05$; 6 $r = 0.5976844$, $p < 0,05$; 7 $r = 0.7750148$, $p < 0,05$; 8 $r = 0.8113167$, $p < 0,05$; 9 $r = 0.814093$, $p < 0,05$; +10 $r = 0.7745041$, $p < 0,05$.

Os quinze trabalhos mais citados variaram de 277 a 796 citações (Figura 3), dos quais dez destes envolveram três ou mais autores. O trabalho de Schutzendubel e Polle (2002) merece destaque, pois possui um grande número de citações (796 citações). Esse trabalho, identificou

o estímulo do sistema de defesa das células das raízes das plantas através da ação antioxidante nas raízes, micorrizas e fungos micorrízicos. Dois outros artigos estão com valor superior a 500 citações Blaylock et al., (1997) com 656 citações, que avalia a bioacumulação de chumbo, zinco, níquel e cádmio pela mostarda indiana juntamente com a adição de quelatos sintéticos no solo. O trabalho de Huang et al., (1997) com 555 citações também trabalhou com a adição de quelatos sintéticos em associação com milho e ervilha para maior absorção de chumbo disponível no solo. Os quelatos são moléculas orgânicas sintéticas que atuam na remediação como extratores de minerais ou íon metálico, principalmente quando inorgânicos, disponibilizando para a absorção pelas plantas uma vez que os quelatos possuem radicais livres que permitem a ligação com os minerais ou íons metálicos (KHAN et al., 2000; KABATA-PENDIAS, 2011). A frequência com que um trabalho é citado é um dos critérios de avaliação ou uma ferramenta para identificar o impacto do trabalho indicando a qualidade científica do artigo (STREHL e SANTOS, 2002; DASTIDAR, 2004; LEIMU e KORICHEVA, 2005). Uma das dificuldades para avaliar o número de citações é encontrada quando se compara dois autores de diferentes áreas, matemática e química por exemplo, onde o número de citações entre eles é muito diferente mesmo sendo os autores mais citados para as respectivas áreas (PODLUBNY, 2005). Os trabalhos mais citados refletem a relevância que seu estudo tem para a área (PADIAL et al., 2010) e geralmente envolvem diversos autores e colaboradores internacionais (AKSNES, 2003; LEIMU e KORICHEVA, 2005; MENEGHINI; MUGNAINI; PACKER, 2006).

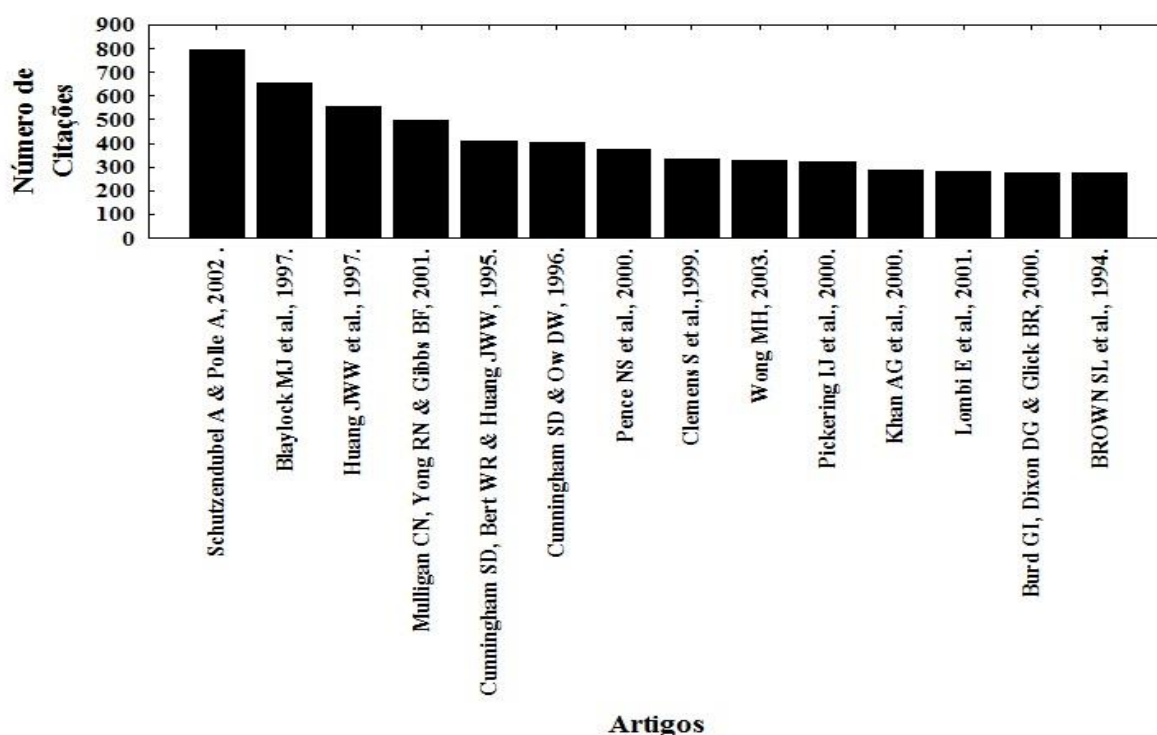


Figura 03 – Relação dos artigos mais citados sobre fitorremediação.

Durante o período analisado, 26 revistas publicaram artigos sobre o tema fitorremediação. As 14 revistas que mais publicaram apresentam fator de impacto (FI) variando de 0,38 (revista Fresen. Environ. Bull.) a 5,33 (Environ. Sci. Technol.). As revistas com maior número de publicações estão na Figura 4 com um FI médio de 3,09. A revista com maior número de publicações, Int. J. Phytoremediation, possui 528 artigos e tem um FI de 1,739 e seu primeiro volume foi lançado em 1999. O Fator de impacto é um indicador bibliométrico utilizado para avaliar a qualidade da produção científica do periódico. Esse critério tem sido utilizado na seleção de projetos de pesquisa em agências de fomento. Como o FI é calculado bianualmente, observar a variação temporal do FI é um aspecto importante, identificando a qualidade de uma produção levando-se em conta a sua condição relativa e mutável (STREHL e SANTOS, 2002). O uso do FI como medida de qualidade é generalizado uma vez que se adequa bem com o conceito que temos das melhores revistas de cada área (GARFIELD, 1999). O FI como outros índices bibliométricos apresentam limitações e nesse caso refere-se a comparações entre diferentes áreas do conhecimento. Estão sujeitos também a sofrer manipulações de forma a promover pesquisadores e periódicos a status de excelência, benefícios financeiros diretos ou indiretos (SANTOS et al., 2012).

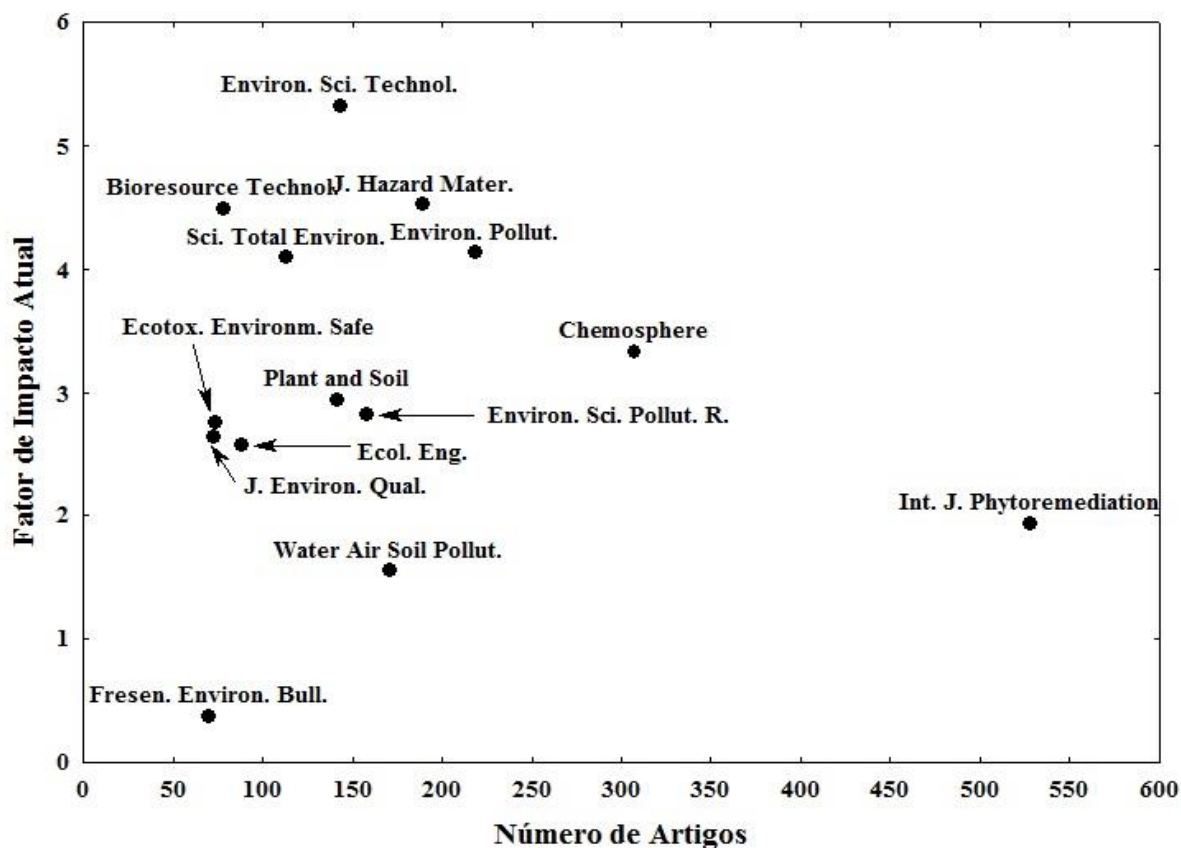


Figura 04 – Relação do Fator de Impacto para o ano de 2014 e o número de artigos das 14 revistas que mais publicaram sobre fitorremediação.

Dentre os 5913 artigos analisados sobre fitorremediação (Figura 5) 52,64% tratam exclusivamente da poluição do solo, enquanto 10,77% das publicações são exclusivas para contaminação em ambiente aquático e somente 0,91% são voltados exclusivamente para contaminação no ar. Alguns trabalhos (17,65%) também associaram a despoluição de solo e água conjuntamente. Os coeficientes de correlação para a tendência temporal de estudos com solo ($r = 0,9875$), água ($r = 0,9394$), ar ($r = 0,8379$), solo e água ($r = 0,9728$) foram positivos e significativos ($p < 0,05$) indicando uma forte tendência do crescimento para publicações ao longo dos anos (Figura 5). Na análise das publicações, controlando a estimativa de publicações do tipo de ambiente por ano, verificamos que as médias de publicações dos estudos ligados ao solo diferem significativamente daquele ligados a solo e água (teste t *Student* $p < 0,05$).

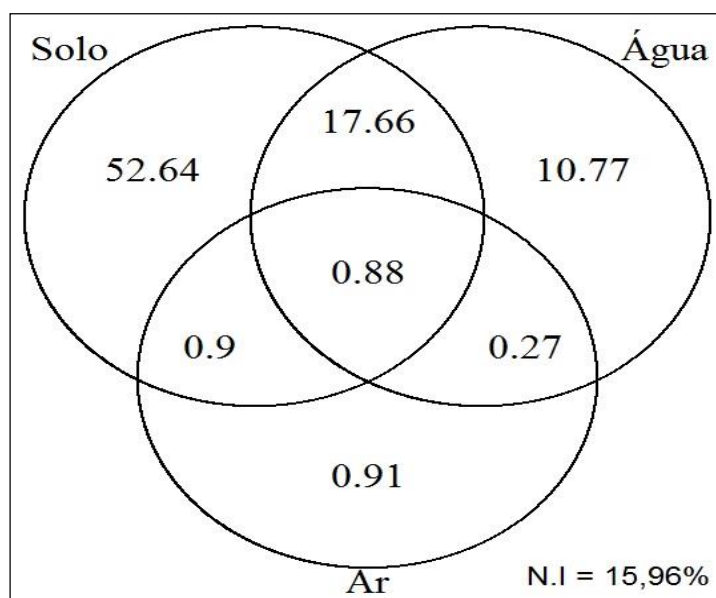


Figura 05 – Percentual de artigos produzidos a nível mundial levando em consideração o foco de estudo. Água (A), Solo (S), Ar (Ar), Não Identificado (N.I). Coeficientes de Correlação para os locais de estudos: S $r = 0,9875$, $p < 0,05$; A $r = 0,9394$, $p < 0,05$; Ar $r = 0,8379$, $p < 0,05$; S-A $r = 0,9728$, $p < 0,05$; A-Ar $r = 0,2810$, $p > 0,05$; S-Ar $r = 0,5511$, $p < 0,05$; S-A-Ar $r = 0,6120$, $p > 0,05$; N.C $r = 0,9305$, $p < 0,05$.

Cerca de 33% do solo do planeta sofre com nível de degradação de moderado a alto devido a erosão, diminuição de nutrientes, acidificação, urbanização e poluição química (FAO, 2014). Estudos mostram que muitas regiões estão sujeitas a mudanças que afetam a sustentabilidade do planeta e que as áreas de solos produtivos no mundo são limitadas. Além disso, seu uso é bastante variado, sendo fundamental para o fornecimento de água limpa e para reciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, a gestão futura de florestas e vegetação arbustiva (GARCÍA-RUIZ et al., 2011).

No que se refere a água que foi o segundo ambiente mais estudado nos trabalhos de fitorremediação, o relatório “*Water for a sustainable world*” das Nações Unidas relata que até

2030 o planeta pode enfrentar um déficit de até 40% de água. Para aumentar a disponibilidade de água é necessário racionalizar o consumo, desenvolver políticas de sensibilização e educação, políticas econômicas adequadas, adaptação legislativa e suporte técnico aos municípios (TARJUELO et al., 2010).

No conjunto solo e água, a escassez e a degradação são fatores que ameaçam a segurança alimentar (BELNAP, 1995). A manutenção desses dois recursos são a chave para a produção de alimentos no planeta, uma vez que a expectativa para 2050 será de 9 bilhões de pessoas no mundo (FAO, 2011). Para decisões corretas, a base empírica da relação uso água e terra deve ser aumentada com estudos científicos que analisam o tipo de cobertura do solo com o fornecimento de água e planejamento para futuras pesquisas (GARMENDIA et al., 2012). Nesse sentido, estudos de fitorremediação podem significar um meio para controlar o impacto nesses ambientes (KUZOVKINA e QUIGLEY, 2005).

Identificamos 506 espécies de plantas entre todas as palavras-chaves dos 5913 artigos. As espécies que apareceram com maior frequência foram: *Brassica* sp. (269), *Salix* sp. (183) e *Populus* sp. (176) (Figura 6). O gênero *Brassica* que pertence à família Brassicaceae é representado por espécies herbáceas com variedades perenes e anuais. Representantes do gênero *Brassica* são amplamente conhecidas pelo seu interesse econômico na alimentação como a mostarda, o nabo e o repolho (AL-SHEHBAZ; BEILSTEIN; KELLOGG, 2006). Os outros gêneros que tiveram destaque foram *Salix* e *Populus*, pertencentes à família Salicaceae e caracterizadas na forma de árvores e arbustos em que várias espécies são utilizadas como ornamentais, em cestaria, na produção de madeira e na restauração de cursos d'água (MOURA, 2002).

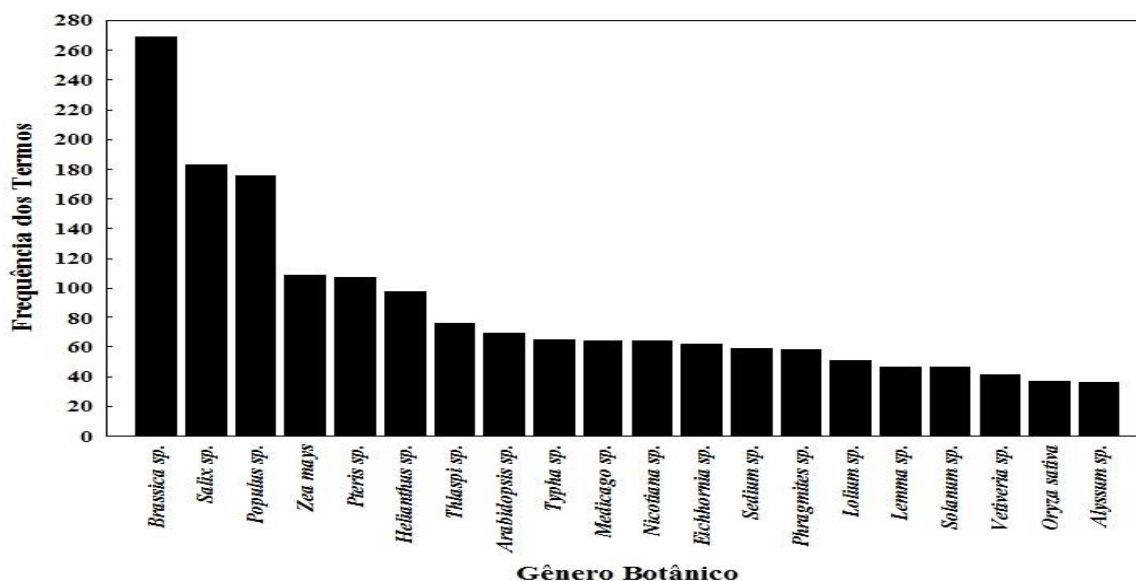


Figura 06 – Gêneros botânicos mais citados nas palavras-chaves dos trabalhos de fitorremediação.

Em geral, as famílias mais representativas nos estudos de fitorremediação englobam as espécies que apresentaram maior frequência nas palavras-chave (Figura 7). A família com maior frequência foi Poaceae deixando em segundo e terceiro lugar a família Brassicaceae e Salicaceae, respectivamente (Figura 7). As Poaceae são ecologicamente e economicamente importantes possuindo uma ampla diversidade, aproximadamente 10.000 espécies. Constituem a base da alimentação de inúmeros animais e do ser humano. Os organismos deste grupo estão presentes em uma ampla variedade de condições ambientais, contudo as variações climáticas ocorridas nos últimos tempos têm afetado consideravelmente a sua dispersão. A exploração pelo homem das espécies desse grupo tem ameaçado os ecossistemas a nível global (KELLOGG, 2001; BLAIR, NIPPERT, BRIGGS, 2014). A espécie *Zea mays* L., representante dessa família com maior frequência nas palavras-chave acumula na sua parte aérea os micronutrientes na seguinte ordem: Fe>B>Mn>Zn>Cu (BORIN; LANA; PEREIRA, 2010).

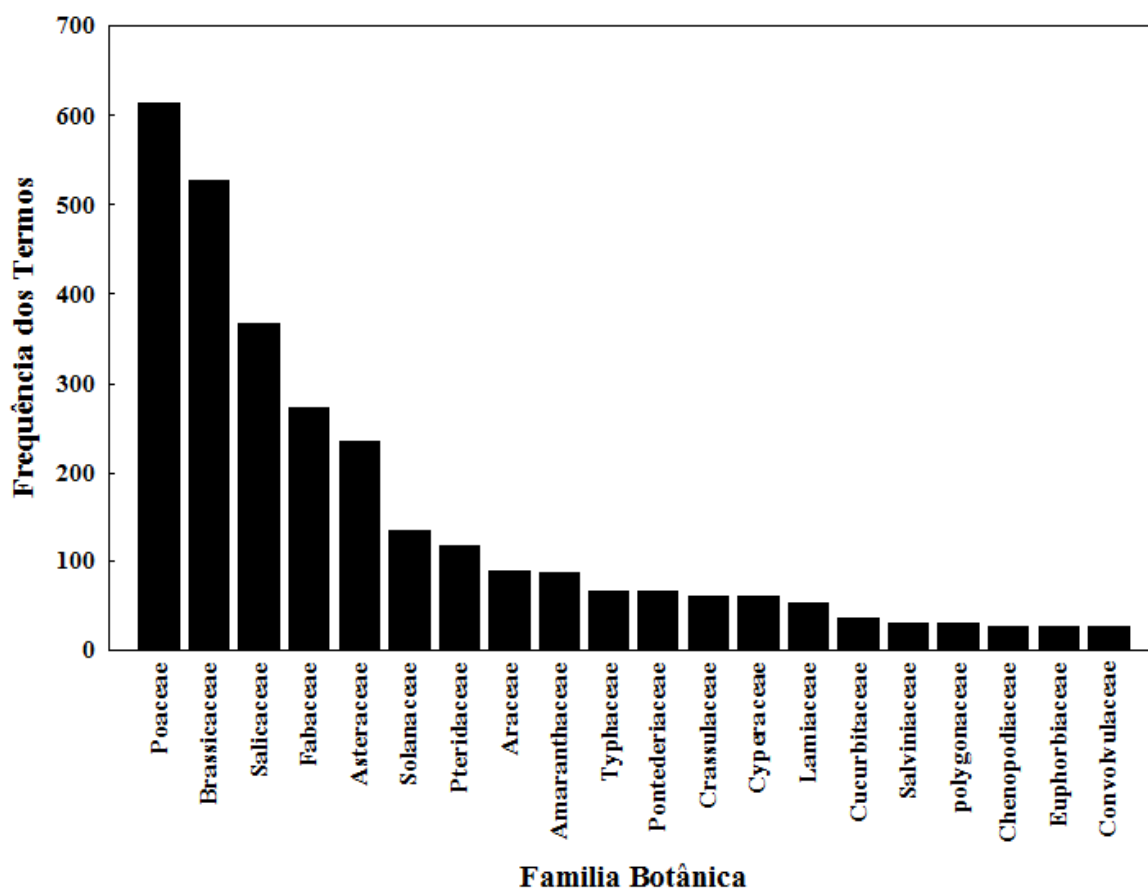


Figura 07 - Famílias Botânicas mais citadas nas palavras-chaves dos estudos de fitorremediação.

Brassicaceae é um grupo derivado de uma única espécie ancestral e todos as suas espécies descendentes estão inclusas em 338 gêneros e mais de 3700 espécies distribuídas no mundo. Muitas espécies são de importância econômica, alimentar e ornamental. Algumas

espécies são atualmente usadas em experimentos biológicos e tem o genoma sequenciado (AL-SHEHBAZ; BEILSTEIN; KELLOGG, 2006). A origem desse grupo é principalmente do mediterrâneo e oriente médio (SANTOS; CHOW; FURLAN, 2008). Dentre os tipos de brássicas, a couve-de-folha é a mais cultivada no ocidente e é a que mais se assemelha à couve silvestre *Brassica oleracea* (L.) var. *silvestris* frequente nos estudos (FILGUEIRA, 2008). A couve é exigente em micronutrientes como molibdênio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco e os micronutrientes mais absorvidos são, na seguinte sequência, Fe>Zn>Mn>B>Cu>Mo (MAY et al., 2007).

Assim, as plantas mais utilizadas nos estudos analisados para a fitorremediação são amplamente conhecidas em diferentes aspectos como na ornamentação, alimentação, ecologia, fisiologia, genética e manejo. Nesse sentido tal conhecimento torna-se necessário para a utilização da planta na fitorremediação (SCHRÖDER, 2009; BHARGAVA et al., 2012; HOSSAIN et al., 2012; MEMON). Aspectos como taxa de crescimento, alta produção de biomassa, competitividade e tolerância a poluição devem ser considerados na escolha de fitorremediadores (LAMEGO; VIDAL, 2008; TAVARES, OLIVEIRA & SALGADO, 2013). Assim como a associação com microrganismos, os metabólitos secundários produzidos pelas plantas também controlam os xenobióticos presentes no ambiente. Os xenobióticos são compostos químicos fabricados pelo ser humano incluindo aí plásticos, medicamentos, pesticidas e produtos de higiene e limpeza (SILVA; MELO; FAY, 2004). Outros fatores como o sistema radicular denso e profundo, evapotranspiração adequada, alta taxa de exsudação radicular, resistência a pragas e doenças, adaptabilidade, fácil associação com microrganismos do solo, aquisição e manejo fácil e de ocorrência natural devem ser considerados para definição da eficiência de plantas no processo de fitorremediação (USPA, 2000; PROCÓPIO et al., 2009).

Os xenobióticos são compostos tóxicos para o homem e outros organismos são extremamente estáveis e persistentes, podendo ser transportados através das teias tróficas e a longas distâncias (SINGER; CROWLEY; THOMPSON, 2003). Os riscos tóxicos que os contaminantes extraídos pelas plantas utilizadas na fitorremediação não se restringem apenas ao meio ambiente. Por exemplo, a exposição aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) presentes em óleos combustíveis possuem efeitos carcinogênicos (ALLEN et al., 2008). Em geral, os destilados de petróleo são pouco absorvidos pelo sistema gastrointestinal e não causam toxicidade sistêmica por ingestão, a não ser que ocorra inalação. Nesse caso, os efeitos primários incluem dano pulmonar e depressão ou excitação transitória do sistema nervoso central. Além disso, a inalação de hidrocarbonetos voláteis de petróleo pode resultar em

arritmias cardíacas. Relatos de casos de efeitos renais e hematológicos também foram feitos após exposição aguda alta. Humanos residentes expostos até dezessete anos próximos a indústrias petroquímicas em áreas muito contaminadas reportaram efeitos neurofisiológicos e neurológicos (BAARS et al., 2002, JI et al., 2011, RIBEIRO, 2012).

Os efeitos dos metais pesados como o cádmio no homem podem causar câncer de pulmão, danos na mucosa gástrica e intestinal, edema pulmonar, renais e até teratógenos (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006). O Arsênio (As) tem sido descrito que a nível molecular pode proporcionar efeitos prejudiciais na saúde devido interrompendo, por exemplo, a expressão de diversos genes (particularmente os envolvidos nas vias de transdução de sinal) prejudicando o processo de divisão celular (ABERNATHY *et al.*, 1999) e as disfunções imunológicas (SOTO-PENA et al., 2006). Estudos também revelam que a exposição ao elemento pode estar associada aos efeitos na saúde do homem. Como no caso de exposição crônica, a longo prazo, pode estar ligado a várias formas de câncer e graves doenças como patologias cutâneas, gastrointestinais, cardiovasculares, hematológicas, pulmonares, neurológicas, endocrinológicas e reprodutivas (GOMEZ-CAMINERO et al., 2001).

Os organoclorados, base dos pesticidas atuam principalmente na proteção no sistema de proteção do organismos e cérebro. A relatos de lesões hepáticas e renais causada pelo contato ou exposição aos organoclorados. Os produtos fabricados com este composto podem ainda acarretar lesões no cérebro, no coração, na medula óssea etc. Influenciar na atividade estrogênica, estimulando a testosterona e propiciando a puberdade precoce identificada na exposição ao DDT. A ação imunossupressora e alteração de conduto também já foi relatada em alguns grupos de pessoas (GUERRA e SAMPAIO, 1991; PINHEIRO e MONTEIRO, 1992). Outro destaque são os casos de pessoas contaminadas com Hexaclorobenzeno (BHC) que tiveram câncer em órgãos do aparelho digestivo, pulmão e rim (OLIVEIRA e ADEODATO, 1997). De forma geral os organoclorados estão ligados diretamente a casos agudos como a morte de organismos ou de doenças cancerígenas, tumores, abortos e inibição do crescimento dependendo da qualidade e quantidade absorvida (MELO et al., 2010).

As plantas para combater os xenobióticos produzem os metabolitos secundários ou passaram a associar a insetos e micro-organismos mutualísticos ou não de forma a se protegerem. Assim, os metabolitos secundários apesar de não essenciais aos processos metabólicos básicos da planta desempenham importante função nos mecanismos de defesa das mesmas (SINGER; CROWLEY; THOMPSON, 2003). Muitos compostos podem estar presentes no solo e são análogos aos xenobióticos o que favoreceria a degradação pelos organismos, uma vez que as enzimas envolvidas no processo apresentam baixa especificidade

e assim atacam os xenobióticos (SILVA; MELO; FAY, 2004). Embora exista evidências que muitos metabolitos secundários possam degradar os xenobióticos das plantas ou estimular a degradação bacteriana os mecanismos ainda não estão claros (SINGER; CROWLEY; THOMPSON, 2003).

Na análise de correspondência para verificar a relação entre os estudos dos contaminantes com as plantas remediadoras os dois primeiros componentes explicaram cerca de 47% da variação dos contaminantes em função das espécies de plantas (Figura 8). O teste de chi-quadrado de Pearson apresentou um valor de $p < 0,0001$ o que demonstra uma associação significativa entre as plantas e contaminantes identificados nas palavras chaves. A primeira componente principal explicou 27,93% da variabilidade dos contaminantes utilizados nos estudos em função das plantas, enquanto que a segunda componente explicou 19,36%. Foi observado que a maior parte das plantas estão associadas a um grande número de contaminantes principalmente metais pesados, HP (hidrocarbonetos de petróleo), resíduos, pesticidas, efluentes, PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), PCB (bifenil policlorados), o que fornece um indicativo de que essas espécies de plantas têm sido amplamente estudadas para diversos poluentes. No eixo I verificamos que as plantas *Alyssum* sp., *Thlaspi* sp., *Sedum* sp., *Helianthus* sp., *Nicotiana* sp., *Brassica* sp., *Solanum* sp., *Phragmites* sp., *Lolium* sp., *Medicago* sp., *Populus* sp., *Vetiveria* sp., *Salix* sp., *Arabidopsis* sp. foram mais associada a estudos ligados a contaminantes como: Ni, Zn, Cd, PAH, HP, pesticidas, explosivos, PCB e cianeto. Na análise do eixo 2 verifica-se que as plantas *Pteris* sp., *Oryza sativa*, *Lemna* sp., *Typha* sp., *Zea mays*, *Eichhornia* sp. foram associada aos contaminantes As, P e N. Contudo ressalta-se que devido à proximidade ao centro do eixo inúmeras plantas foram utilizadas para diversos contaminantes.

A amplitude dos contaminantes estudados no eixo 1 pode ser entendida como sendo ainda maior uma vez que contaminantes tais como o PAH: naftaleno, fluoreno, pireno, benzo a pireno e antraceno; e HP: gasolina, diesel e óleo de motor, possuem diversos subprodutos listados (PADMAVATHIAMM, AHMED, RAHMAN, 2014). A planta de destaque foram as plantas do gênero *Alyssum* que na década de 40 já se observava que essas plantas tinham a capacidade de acumular níquel em suas estruturas (ANJUM et al., 2012) percebido na CA em que há uma forte associação entre os estudos dos mesmos. As espécies *A. murale* e *A. corsicum* são frequentemente empregadas nos estudos com fitorremediação de ambientes contaminados com níquel (CHANEY et al., 2005; QIU et al., 2009, ANJUM et al., 2012).

Ainda na análise do eixo 1 verificamos que as plantas do gênero *Sedum* principalmente da espécie *S. alfredii* tem demonstrado eficiência na descontaminação de dois elementos o Zn e o Cd e em terceiro lugar o Pb (DENG et al. 2007; HUANG et al. 2007; DENG et al. 2008;

LIU et al. 2009; ZHU et al. 2009), assim como observado na CA. Plantas desse gênero tem sido usada em conjunto com micro-organismos como bactérias e fungos são utilizados para acelerar o processo de descontaminação (XIONG et al. 2008; XINXIAN et al. 2011; LI e WONG 2011). Outra característica é o consórcio com outras culturas como da espécie *Zea mays* aumentando a biomassa favorecendo a fitoextração dos metais (WU et al. 2007; JIANG et al. 2009; ZHU et al. 2010). Verifica-se ainda que as duas espécies (*Salix* sp., *Populus* sp.) mais associadas ao eixo I pertencem a família Salicaceae (AYALA e SOLANO, 2011). As plantas do gênero *Populus* são utilizadas para a descontaminação de ambientes com pesticidas (PREDIERI et al., 2001) e de explosivos tóxicos (TANAKA et al., 2007). Quanto as plantas do gênero *Salix* estas são caracterizadas por um grupo de mais de 300 espécies na forma de árvores e arbustos (MOURA, 2002). Uma característica interessante na utilização dessas plantas na fitorremediação é a associação de fungos na rizosfera para descontaminação de solos contaminados com hidrocarbonetos (ZALESNY et al., 2005; BELL et al., 2014;) e de resíduos nos efluentes (MAXTED et al., 2007). A planta da alfafa (*Medicago* sp.) que atua na mobilização de nutrientes das camadas profundas do solo e realizado com eficiência graças ao sistema radicular forte que esta planta possui (CROCHEMORE, 1998). É uma planta estudada para descontaminação em locais com presença de PAH (MURATOVA et al., 2003; FAN et al., 2008), de pesticidas (FLOCCO et al., 2004; LI e YANG, 2013) e metais pesados (BALI; SIEGELE; HARRIS, 2010). Esta planta é uma das forrageiras mais antigas dentre as cultivadas do sudeste da Ásia. É uma planta de alta produtividade e de alta qualidade produzindo em média de 18 a 23 toneladas de matéria (RODRIGUES; COMERÓN; VILELA, 2008). E ressalta-se ainda o gênero *Brassica* onde essas plantas têm sido associadas a descontaminação de metais pesados como Cádmiu, Zinco, Chumbo e Níquel (BLAYLOCK et al., 1997; PODAR, RAMSEY, HUTCHINGS, 2004; ROMIH et al., 2012). Estudos também tem sido realizado em menor proporção para outros contaminantes como tratamento de PAH (D'ORAZIO; GHANEM; SENESI, 2013) e pesticidas (SURESH et al., 2005).

Para os contaminantes mais associados ao eixo 2 as plantas da samambaia (*Pteris vittata*) restringiu-se a um único poluente demonstrando que apresenta boa acumulação de arsênio (CAILLE, ZHAO, MCGRATH, 2004; LIU et al., 2009) embora nem todas as samambaias e todas as plantas do gênero *Pteris* sejam eficientes na acumulação do arsênio (ZHAO, DUNHAM, MCGRATH, 2002; MEHARG, 2003). É uma planta com grande capacidade de adaptação, principalmente a locais abandonados (PRADO e WINDISCH, 2000). Outro grupo o do milho (*Zea mays* L.) também é destacada neste eixo tem apresentado sucesso na descontaminação de Pb (WANG et al., 2007; NEUGSCHWANDTNER et al., 2012) e de

efluentes (YASIN e FAISAL, 2013). Com menor frequência na descontaminação de pesticidas (MUKHERJEE e KUMAR, 2012) e na promoção da rizodegradação de compostos derivados do PAH (YOSHITOMI e SHANN, 2001).

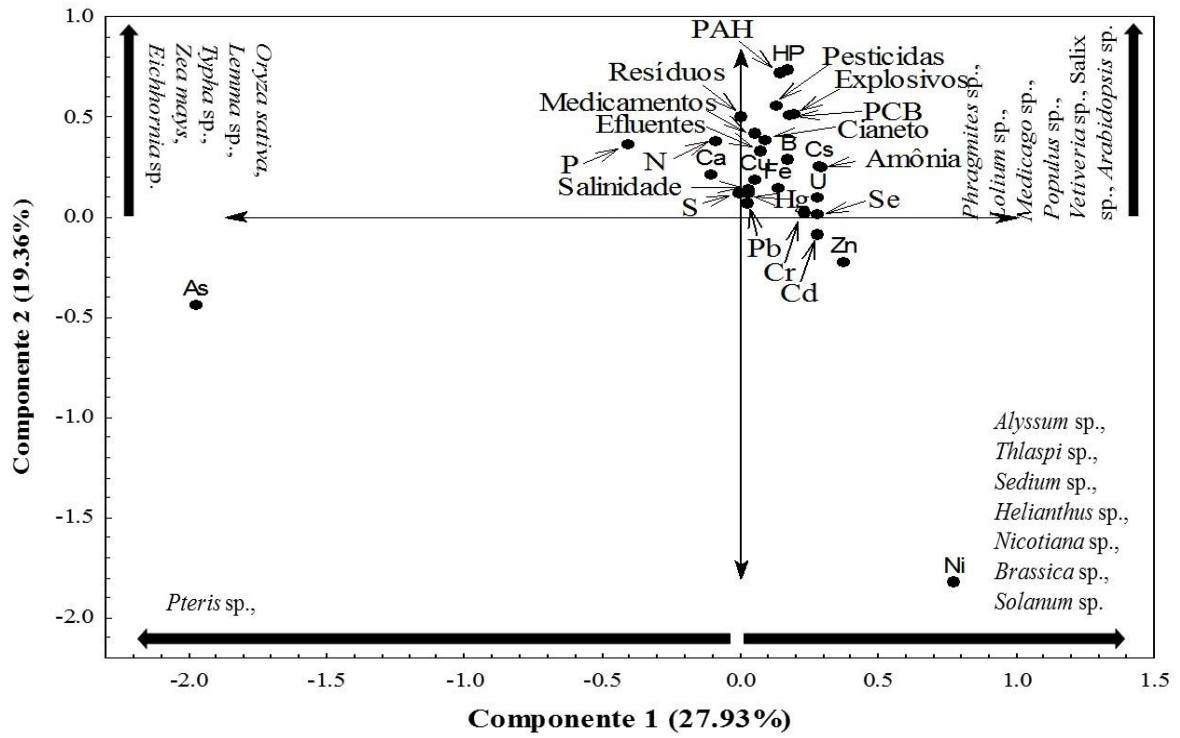


Figura 08 - Relação entre contaminantes e espécies de plantas utilizadas na fitorremediação através da CA. São listadas as palavras-chaves que mais contribuíram para a formação dos primeiros eixos.

5. CONCLUSÃO

O crescente número de estudos sobre fitorremediação pode estar associado ao desenvolvimento de novas aplicações utilizando-se diferentes plantas e/ou contaminantes uma vez que se trata de uma técnica relativamente nova. Além disso, o número maior de trabalhos nos anos mais recentes, pode indicar que essa técnica tem tido sucesso. Um outro aspecto interessante observado nesse estudo é a relação positiva entre número de trabalhos com fitorremediação e a emissão de CO₂, o que pode sugerir uma ligação entre o conhecimento produzido e a aplicação prática. Os trabalhos com fitorremediação são multidisciplinares exigindo conhecimento de áreas como Microbiologia, Engenharia, Ecologia, Geologia e Química e, portanto, estão sendo cada vez mais executados por grupos numerosos de autores (> 6).

O maior número de estudos em ambientes terrestres pode indicar maior utilização de plantas terrestres em detrimento de plantas aquáticas ou algas. Contudo, apesar da nossa ampla diversidade de plantas os trabalhos concentram-se em 506, provavelmente devido a necessidade de se ter um conhecimento amplo da fisiologia das plantas para utilizá-las na fitorremediação. Assim, a despeito da baixa valorização em estudos de conhecimento científico básico pelas agências de fomento, nós indicamos um forte investimento no conhecimento básico da fisiologia de novas espécies de plantas para a identificação de plantas que possam futuramente ser utilizadas como fitorremediadoras como no caso das plantas do Cerrado.

Há a necessidade da ampliação de estudos relativos a descontaminação do ar, mesmo tendo crescimento temporal observados nos resultados, o percentual desses estudos ainda é muito pequeno (0,91%). Um outro aspecto interessante que pode ser abordado em futuros estudos sobre fitorremediação é em relação aos micro-organismos associados as plantas, bem como dos metabólitos das plantas estudadas.

REFERÊNCIAS

- ABERNATHY, C. O. et al.. Arsenic: health effects, mechanisms of actions, and research issues. *Environmental Health Perspectives*, v. 107, n. 7, p. 593–597, 1999.
- ABT, H. A. The frequencies of multinational papers in various sciences. *Scientometrics*, v. 72, n. 1, p. 105–115, 2007a.
- _____. The future of single-authored papers. *Scientometrics*, v. 73, n. 3, p. 353–358, 2007b.
- ACUÑA, A. J. et al. Electrobioremediation of an unsaturated soil contaminated with hydrocarbon after landfarming treatment. *Portugaliae Electrochimica Acta*, v. 28, n. 4, p. 253–263, 2010.
- AKERMAN, M. Medidas de Experiência e Cienciometria para Avaliar Impacto da Produção Científica. *Revista de saúde pública*, v. 47, n. 4, p. 824 – 828, 2013.
- AKSNES, D. W. Characteristics of highly cited papers. *Research Evaluation*, v. 12, n. 3, p. 159–170, 2003.
- ALGUACIL, F. J.; MERINO, Y. Biotratamiento de contaminantes de origen inorgánico. *Revista de Metalurgia*, v. 34, n. 5, p. 428–436, 1998.
- ALLEN, A. G. et al. Atmospheric particulate polycyclic aromatic hydrocarbons from road transport in southeast Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 13, n. 8, p. 483–490, 2008.
- AL-SHEHBAZ, I. A.; BEILSTEIN, M. A.; KELLOGG, E. A. Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview. *Plant Systematics and Evolution*, v. 259, n. 2-4, p. 89–120, 2006.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo e Seus Derivados. *Eclética química*, v. 35, n. 3, p. 17 – 43, 2010.
- ANJUM, N. A. et al. *The Plant Family Brassicaceae*. Dordrecht: Springer Netherlands. v. 21, 2012.
- AYALA, M. M.; SOLANO, E. *Salicaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, p. 1–14, 2011.
- BAARS, B. J. The wreckage of the oil tanker “Erika”—human health risk assessment of beach cleaning, sunbathing and swimming. *Toxicology Letters*, v. 128, n. 1-3, p. 55–68, 2002.
- BALI, R.; SIEGELE, R.; HARRIS, A. T. Biogenic Separation, Accumulation and Cellular Distribution of Cu, Co, and Ni in *Medicago sativa* under Idealized Conditions. *Separation Science and Technology*, v. 45, n. 10, p. 1395–1401, 2010.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Phytoremediation: principles and perspectives. *Contributions to Science*, v. 2, n. 3, p. 333–344, 2003.
- BAZTAN, M. S.; PUCCI, O. H.; PUCCI, G. N. Electrobioremediación de un Suelo con una Contaminación Antigua de Hidrocarburo. *Acta Biológica Colombiana*, v. 20, n. 2, p. 145–152, 2014.
- BELL, T. H. et al. Linkage between bacterial and fungal rhizosphere communities in hydrocarbon-contaminated soils is related to plant phylogeny. *The ISME Journal*, v. 8, n. 2, p. 331–343, 2014.

- BELNAP, J. Surface disturbances: Their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 37, n. 1-3, p. 39–57, 1995.
- BHARGAVA, A. et al. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management*, v. 105, p. 103–120, 2012.
- BINI, L. M. et al. Lomborg and the litany of biodiversity crisis: what the peer review literature says. *Conserv. Biol.*, v. 19, n. 4, p. 1301-1305, 2005.
- BITTENCOURT, L. A. F.; PAULA, A. Análise Cienciométrica de Produção Científica em Unidades de Conservação Federais do Brasil. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA: Centro Científico Conhecer*, v. 8, n. 14, p. 2044–2054, 2012.
- BLACK, H. Absorbing possibilities: phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*, v. 103, n. 12, p. 1106–1108, 1995.
- BLAYLOCK, M. J. et al. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science and Technology*, v. 31, n. 3, p. 860–865, 1997.
- BLAIR, J.; NIPPERT, J.; BRIGGS, J. Grassland Ecology. *Ecology and the Environment*. New York, NY: Springer New York, p. 389–423, 2014.
- BORGES, P. P. et al. Tendências e lacunas da literatura científica sobre o bioma Cerrado: uma análise cienciométrica. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 10, n. 1, p. 2–8, 2014.
- BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. spe, p. 1591–1597, 2010.
- BRITO FILHO, L. F. *Estudos de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2005. 203 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. M. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, v. 33, n. 2, p. 261–304, 2004.
- CAILLE, N.; ZHAO, F. J.; MCGRATH, S. P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator *Pteris vittata* and the nonhyperaccumulator *Pteris tremula*. *New Phytologist*, v. 165, n. 3, p. 755–761, 2004.
- CARNEIRO, F. M.; NABOUT, J. C.; BINI, L. M. Trends in the scientific literature on phytoplankton. *Limnology*, v. 9, n. 2, p. 153–158, 2008.
- CARNEIRO, F. M. et al. Tendências dos Estudos com Plantas Medicinais no Brasil. *Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais*, v. 3, n. 2, p. 44–75, 2014.
- CHANEY, R. L. et al. Using hyperaccumulator plants to phytoextract soil Ni and Cd. *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences*, v. 60, n. 3-4, p. 190 – 198, 2005.
- COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. *Silva Lusitana*, v. 15, n. 1, p. 103–117, 2007.
- CROCHEMORE, M. L. *Variabilidade genética da alfalfa: Marcadores agromorfológicos e moleculares*. Londrina PR: IAPAR, 1998. 59p.
- CUNNINGHAM, S. D.; OW, D. W. Promises and Prospects of Phytoremediation. *Plant physiology*, v. 110, n. 3, p. 715–719, 1996.
- DASTIDAR, P. G. Ocean Science Technology research across the countries: A global scenario. *Scientometrics*, v. 59, n. 1, p. 15–27, 2004.

- DENG, D. M. et al. Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alfredii*. *Environmental Pollution*, v. 147, n. 2, p. 381–386, 2007.
- _____. Accumulation of Zinc, Cadmium, and Lead in Four Populations of *Sedum alfredii* Growing on Lead/Zinc Mine Spoils. *Journal of Integrative Plant Biology*, v. 50, n. 6, p. 691–698, 2008.
- D’ORAZIO, V.; GHANEM, A.; SENESI, N. Phytoremediation of Pyrene Contaminated Soils by Different Plant Species. *CLEAN - Soil, Air, Water*, v. 41, n. 4, p. 377–382, 2013.
- ESPÍNDOLA, M. B. et al. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. *Biotemas*, v. 18, n. 1, p. 27–38, 2005.
- FAN, S. et al. Promotion of pyrene degradation in rhizosphere of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Chemosphere*, v. 71, n. 8, p. 1593–1598, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *The State of the World’s land and water resources for Food and Agriculture, Managing systems at risk*. London: Rome and Earthscan. 2011.
- FAZEY, I.; FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. What do conservation biologists publish? *Biol Conserv.* v.124, n.1, p.63–73, 2005.
- FERREIRA, R. B. et al. Tendências na Literatura Científica Global Sobre o Biodiesel: Uma Análise Cienciométrica. *Biosci. J.*, v. 30, n. 2, p. 547–554, 2014.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.
- FLOCCO, C. G. et al. Removal of azinphos methyl by alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) in a soil-free system. *Science of The Total Environment*, v. 327, n. 1-3, p. 31–39, 2004.
- FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. Disponível em: <<https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata/index.aspx>>
- GARCÍA-RUIZ, J. M. et al. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, v. 105, n. 3-4, p. 121–139, 2011.
- GARFIELD, E. Journal impact factor: a brief review. *CMAJ: Canadian Medical Association journal*, v. 161, n. 8, p. 979–980, 1999.
- GARMENDIA, E. et al. Assessing the effect of alternative land uses in the provision of water resources: Evidence and policy implications from southern Europe. *Land Use Policy*, v. 29, n. 4, p. 761–770, 2012.
- GIBNEY, E. Brazilian science paralysed by economic slump. *Nature*, v. 526, n. 7571, p. 16–17, 2015.
- GOMEZ-CAMINERO, A. et al. *Arsenic and Arsenic Compunds*. Geneva: World Health Organization, 2001. 114p.
- GONÇALVES, A. L. Uso de resumos e palavras-chave em Ciências Sociais: uma avaliação. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, v. 13, n. 26, p. 15, 2008.
- GRATÃO, P. L. et al. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Journal of Plant Physiology*, v.17, n.1, p.53-64, 2005.
- GUERRA, M. S.; SAMPAIO, D. P. A. *Receituário Agronomico*. 2. ed. São Paulo: Editora Globo, 1991. 436p.

- HOSSAIN, M. A. et al. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation. *Journal of Botany*, p. 1-37, 2012.
- HSU, J.; HUANG, D. Correlation between impact and collaboration. *Scientometrics*, v. 86, n. 2, p. 317–324, 2011.
- HUANG, J. W. et al. Phytoremediation of Lead-Contaminated Soils: Role of Synthetic Chelates in Lead Phytoextraction. *Environmental Science & Technology*, v. 31, n. 3, p. 800–805, 1997.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2014*. Paris - França: IEA, 2014a. 122p.
- _____. Recent Trends in CO₂ Emissions from Fuel Combustion. *Co2 Emissions From Fuel Combustion* (2014 Edition), 2014b. 12p.
- JAPPE, A. Explaining international collaboration in global environmental change research. *Scientometrics*, v. 71, n. 3, p. 367–390, 2007.
- JEONG, S.; CHOI, J. Y.; KIM, J. The determinants of research collaboration modes: exploring the effects of research and researcher characteristics on co-authorship. *Scientometrics*, v. 89, n. 3, p. 967–983, 2011.
- Jl, K. et al. Genotoxicity and Endocrine-Disruption Potentials of Sediment near an Oil Spill Site: Two Years after the Hebei Spirit Oil Spill. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 17, p. 7481–7488, 2011.
- JIANG, C. et al. Co-planting can phytoextract similar amounts of cadmium and zinc to monocropping from contaminated soils. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 4, p. 391–395, 2010.
- KABATA-PENDIAS, A. *Trace elements in soils and plants*. 4. ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2011. 534p.
- KHAN, A. G. et al. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, v. 41, n. 1-2, p. 197–207, 2000.
- KELLOGG, E. A. Evolutionary History of the Grasses. *Plant physiology*, v. 125, p. 1198–1205, 2001.
- KUZOVKINA, Y. A.; QUIGLEY, M. F. Willows Beyond Wetlands: Uses of Salix L. Species for Environmental Projects. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 162, n. 1-4, p. 183–204, 2005.
- LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: Plantas como Agentes de Despoluição? Pesticidas: *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 17, p. 9–18, 2008.
- LAURINDO, R.; MAFRA, T. Cienciometria da Revista Comunicação & Sociedade Identifica Interfaces da Área. *Comunicação & Sociedade*, v. 35, p. 233–260, 2010.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 2^o English ed. Amsterdam - NED: Elsevier Scientific B. V. v. 20, 1998.
- LEIMU, R.; KORICHEVA, J. Does Scientific Collaboration Increase the Impact of Ecological Articles? *BioScience*, v. 55, n. 5, p. 438, 2005.
- LEONEL, L. V. et al. BIORREMEDIAÇÃO DO SOLO. *Revista Terra e Cultura: cadernos de ensino e pesquisa*, 51:37–52, 2010.
- LI, W. C.; WONG, M. H. Interaction of Cd/Zn hyperaccumulating plant (*Sedum alfredii*) and rhizosphere bacteria on metal uptake and removal of phenanthrene. *Journal of Hazardous Materials*, v. 209-210, p. 421–433, 2012.

- LI, Y. Y.; YANG, H. Bioaccumulation and degradation of pentachloronitrobenzene in *Medicago sativa*. *Journal of Environmental Management*, v. 119, p. 143–150, 2013.
- LIMA-RIBEIRO, M. S. et al. Análise Cienciométrica em Ecologia de Populações : Importância e Tendências dos Últimos 60 Anos. *Acta Sci. Biol. Sci*, v. 29, n. 1, p. 39–47, 2007.
- LIU, Y. et al. The role of arsenate reductase and superoxide dismutase in As accumulation in four *Pteris* species. *Environment International*, v. 35, n. 3, p. 491–495, 2009.
- MACIAS-CHAPULA, C. A. O Papel da Informetria e da Cienciométrica e sua Perspectiva Nacional e Internacional. *Ciência da Informação*, v. 27, n. 2, p. 134 – 140, 1998.
- MANLY, B. F. J. *Randomization and Monte Carlo methods in biology*, 2nd edition. Chapman and Hall, London, 1997. 339p.
- MARCIONILIO, S. M. L. O. et al. The State of Global Scientific Literature on Chlorophyll-A. *Biosci. J.*, v. 31, n. 3, p. 941–950, 2015.
- MARTÍNEZ-PRADO, M. A.; UNZUETA-MEDINA, J.; PÉREZ-LÓPEZ, M. E. Eletrobioremediation as a Hybrid Technology to Treat Soil Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, v. 13, n. 1, p. 113 – 127, 2014.
- MAXTED, A. P. et al. Phytoextraction of cadmium and zinc by *Salix* from soil historically amended with sewage sludge. *Plant and Soil*, v. 290, n. 1-2, p. 157–172, 2007.
- MAY, A. et al. *A Cultura da Couve-Flor*. *Boletim Técnico IAC*, Tecnologia APTA., nº 200. Campinas - SP, 2007. 36p.
- MAY, R. M. Science Priorities: The Scientific Investments of Nations. *Science*, v. 281, n. 5373, p. 49–51, 1998.
- MEHARG, A. A. Variation in arsenic accumulation - hyperaccumulation in ferns and their allies. *New Phytologist*, v. 157, n. 1, p. 25–31, 2003.
- MELO, A. S.; BINI, L. M.; CARVALHO, P. Brazilian articles in international journals on Limnology. *Scientometrics*, v. 67, n. 2, p. 187– 199, 2006.
- MELO, R. F. et al. Pesticidas e seus impactos no ambiente. In: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F. GIONGO, V. (Org). *Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro*. Petrolina: EMBRAPA Semiárido. p. 101–136, 2010.
- MEMON, A. R.; SCHRÖDER, P. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 16, n. 2, p. 162–175, 2009.
- MENEGHINI, R.; MUGNAINI, R.; PACKER, A. L. International versus national oriented Brazilian scientific journals. A scientometric analysis based on SciELO and JCR-ISI databases. *Scientometrics*, v. 69, n. 3, p. 529–538, 2006.
- MOURA, V. P. G. *Introdução de Novas Espécies de Salix (Salicaceae) no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil*. , nº 71. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2002. 3p.
- MUKHERJEE, I.; KUMAR, A. Phytoextraction of Endosulfan a Remediation Technique. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 88, n. 2, p. 250–254, 2012.
- MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da Saúde*, v. 4, n. 1/2, p. 83–100, 2006.

- MURATOVA, A. et al. Plant – Rhizosphere-Microflora Association During Phytoremediation of PAH-Contaminated Soil. *International Journal of Phytoremediation*, v. 5, n. 2, p. 137–151, 2003.
- MUTECA, F. L. L. *Biorremediação de Solo Contaminado com Óleo Cru Proveniente de Angola*. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade do Rio de Janeiro, 2012.
- NABOUT, J. C.; BINI, L. M.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Global literature of fiddler crabs, genus *Uca* (Decapoda, Ocypodidae): trends and future directions. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 100, n. 4, p. 463–468, 2010.
- NABOUT, J. C. et al. Trends and Biases in Global Climate Change Literature. *Natureza & Conservação*, v. 10, n. 1, p. 45–51, 2012.
- _____. Publish (in a group) or perish (alone): the trend from single- to multi-authorship in biological papers. *Scientometrics*, v. 102, n. 1, p. 357–364, 2015.
- NASCIMENTO, C. W. A.; XING, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 3, p. 299–311, 2006.
- NEUGSCHWANDTNER, R. W. et al. Chemically Enhanced Phytoextraction of Risk Elements from a Contaminated Agricultural Soil Using Zea Mays and *Triticum Aestivum*: Performance and Metal Mobilization Over a Three Year Period. *International Journal of Phytoremediation*, v. 14, n. 8, p. 754–771, 2012.
- NOSSA, V. *Disclosure Ambiental: Uma Análise do Conteúdo dos Relatórios Ambientais de Empresas do Setor de Papel e Celulose em Nível Internacional*. 2002. 246 f. Dissertação (Doutorado)–FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE - USP, 2002.
- OLIVEIRA, W.; ADEODATO, S. O. O bairro que respira veneno. *Globo Ciência*, v. 6, p. 48 – 51, 1997.
- OLIVIER, J. G. J. et al. *Trends in global co 2 emissions 2014 report*. PBL and JR ed. Haia, Holanda: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014. 52p.
- PADIAL, A. A.; BINI, L. M.; THOMAZ, S. M. The study of aquatic macrophytes in Neotropics: a scientometrical view of the main trends and gaps. *Braz. J. Biol.*, v. 68, n.4, p. 1051-1059, 2008.
- PADIAL, A. A. et al. Weak evidence for determinants of citation frequency in ecological articles. *Scientometrics*, v. 85, n. 1, p. 1–12, 2010.
- PADMAVATHIAMMA, P. K.; AHMED, M.; RAHMAN, H. A. Phytoremediation - A sustainable approach for contaminant remediation in arid and semi-arid regions - a review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26:757–772, 2014.
- PIERRO, B. Ciência em evolução. *Pesquisa FAPESP*, v. 222, p. 32–35, 2014.
- PILON-SMITS, E. A.; LEDUC, D. L. Phytoremediation of selenium using transgenic plants. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 20, n. 2, p. 207–212, 2009.
- PINHEIRO, A. C. F. B.; MONTEIRO, A. L. F. P. *Ciências do ambiente; ecologia, poluição e impacto ambiental*. São Paulo - SP: MAKRON, 1992. 148p.
- PINTO, M. P.; BINI, L. M.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Quantitative analysis of the influence of a new ecological paradigm: spatial autocorrelation (Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial). *Acta Sci*, v.25, n. 1, p.137–143, 2002.

- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDH-Global-2013.aspx>>
- PODAR, D.; RAMSEY, M. H.; HUTCHINGS, M. J. Effect of cadmium, zinc and substrate heterogeneity on yield, shoot metal concentration and metal uptake by *Brassica juncea*: implications for human health risk assessment and phytoremediation. *New Phytologist*, v. 163, n. 2, p. 313–324, 2004.
- PODLUBNY, I. Comparison of scientific impact expressed by the number of citations in different fields of science. *Scientometrics*, v. 64, n. 1, p. 95–99, 2005.
- PRADO, J.; WINDISCH, P. G. The genus *Pteris* L. (Pteridaceae) in Brazil. *Boletim do Instituto de Botânica de São Paulo*, v. 19, n. 2, p. 103–199, 2000.
- PREDIERI, S. et al.. Selection of woody species with enhanced uptake capacity: the case-study of Niedwiady resort pollution by pesticides stored in bunkers. *MINERVA BIOTECNOLOGICA*, v. 13, n. 2, p. 111–116, 2001
- PROCÓPIO, S. O. et al. *Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas*. Aracaju, SE: Embrapa, 2009. 32p.
- QIU, R. et al. Effects of exogenous citric acid and malic acid addition on nickel uptake and translocation in leaf mustard (*Brassica juncea* var. *foliosa* Bailey) and *Alyssum corsicum*. *International Journal of Environment and Pollution*, v. 38, n. 1/2, p. 15, 2009.
- QUIXABEIRA, V. B. L.; NABOUT, J. C.; RODRIGUES, F. M. Trends in genetic literature with the use of flow cytometry. *Cytometry Part A*, v. 77, n. 3, p. 207–210, 2009.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAHMAN, K. S. M. et al. Bioremediation of gasoline Contaminated Soil by a Bacterial Consortium Amended With Poultry Litter, Coir Pith and Rhamnolipid Biosurfactant. *Bioresource Technology*, v. 81, n. 1, p. 25–32, 2002.
- RIBEIRO, H. Impactos da exploração do petróleo na saúde humana. *Revista USP*, v. 95, p. 61 – 71, 2102.
- RODRIGUES, A. A.; COMERÓN, E. A.; VILELA, D. Utilização da Alfafa em Pastejo para Alimentação de Vacas Leiteiras. In: FERREIRA, R. P. et al. (Org). *Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos*. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, p.345-378, 2008.
- ROMIH, N. et al. Distribution of Cd, Pb, Zn, Mo, and S in Juvenile and Mature *Brassica napus* L. Var. *Napus*. *International Journal of Phytoremediation*, v. 14, n. 3, p. 282–301, 2012.
- SANTOS, D. Y. A.; CHOW, F.; FURLAN, C. M. *Ensino de Botânica: Curso de atualização de professores de educação básica: A botânica no cotidiano*. São Paulo: USP - Departamento de Botânica, 2008. 124p.
- SANTOS, T. et al. Reflexões sobre a utilização de indicadores cienciométricos. *Motricidade*, v. 8, n. S2, p. 15–22, 2012.
- SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, v. 53, n. 372, p. 1351–1365, 2002.
- SILVA, C. M. M. S.; MELO, I. S.; FAY, E. F. Biotransformação de Agrotóxicos e Biorremediação. In: SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. (Org.). *Agrotóxicos & Ambiente*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 400p.

- SINGER, A. C.; CROWLEY, D. E.; THOMPSON, I. P. Secondary plant metabolites in phytoremediation and biotransformation. *Trends in Biotechnology*, v. 21, n. 3, p. 123–130, 2003.
- SOTO-PENA, G. A. et al. Assessment of lymphocyte subpopulations and cytokine secretion in children exposed to arsenic. *Faseb J*, v. 20, n. 6, p. 779–781, 2006.
- SOUZA, M. N. *Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*. 2004. 371 f. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- SPINAK, E. Indicadores Cienciométricos. *Ciência da Informação*, v. 27, n. 2, p. 141 – 148, 1998.
- STANHILL, G. The growth of climate change science: a scientometric study. *Climatic Change*, v. 48, n. 2, p. 515-524, 2001.
- STREHL, L.; SANTOS, C. A. Indicadores de Qualidade da Atividade Científica. *Ciência Hoje*, v. 31, n. 186, p. 34 – 39, 2002.
- SURESH, B. et al. Uptake and degradation of DDT by hairy root cultures of *Cichorium intybus* and *Brassica juncea*. *Chemosphere*, v. 61, n. 9, p. 1288–1292, 2005.
- TANAKA, S. et al. Analysis of Gene Expression in Poplar Trees (*Populus Deltoides* × *Nigra* , DN34) Exposed to the Toxic Explosive Hexahydro-1,3,5-Trinitro-1,3,5-Triazine (RDX). *International Journal of Phytoremediation*, v. 9, n. 1, p. 15–30, 2007.
- TARJUELO, J. M. et al. Review. Water resources deficit and water engineering. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v. 8, p. 102 – 121, 2010.
- TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, A. S.; SALGADO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. *HOLOS*, v. 5, p. 80–97, 2013.
- THE WORLD BANK. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>>
- UNITED STATES PROTECTION AGENCY. *Introduction to Phytoremediation*. Cincinnati - Ohio: National Risk Management Research Laboratory, 2000. 104p.
- VANZ, S. A. S.; STUMPF, I. R. C. Colaboração científica: revisão teórico-conceitual. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 15, n. 2, p. 42–55, 2010.
- VIDALI, M. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*, v. 73, n. 7, p. 1163–1172, 2001.
- WANG, M. et al. Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.). *Bioresource Technology*, v. 98, n. 1, p. 82–88, 2007.
- WEBOMETRICS RANKING OF WORLD Universities. Disponível em: <<http://www.webometrics.info/en/node/54>>
- WHITFIELD, J. Collaboration: Group theory. *Nature*, v. 455, n. 7214, p. 720–723, 2008.
- WU, Q. T. et al. Co-cropping for phyto-separation of zinc and potassium from sewage sludge. *Chemosphere*, v. 68, n. 10, p. 1954–1960, 2007.
- XIONG, J. et al. The role of bacteria in the heavy metals removal and growth of *Sedum alfredii* Hance in an aqueous medium. *Chemosphere*, v. 70, n. 3, p. 489–494, 2008.
- XINXIAN, L. et al. Isolation and characterization endophytic bacteria from hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance and their potential to promote phytoextraction of zinc polluted soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 27, n. 5, p. 1197–1207, 2011.

YAMAMOTO, O. H.; SOUZA, C. C.; YAMAMOTO, M. E. A Produção Científica na Psicologia: Uma Análise dos Periódicos Brasileiros no Período 1990-1997. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, v. 12, n. 2, p. 549–565, 1999.

YASIN, M.; FAISAL, M. Assessing the Phytotoxicity of Tannery Waste-Contaminated Soil on *Zea mays* (Lin) Growth. *Pol. J. Environ. Stud*, v. 22, n. 6, p. 1871 – 1876, 2013.

YOSHITOMI, K. J.; SHANN, J. R. Corn (*Zea mays* L.) root exudates and their impact on ¹⁴C-pyrene mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, n. 12-13, p. 1769–1776, 2001.

ZALESNY, R. S. et al. Clonal Variation in Survival and Growth of Hybrid Poplar and Willow in an IN SITU Trial on Soils Heavily Contaminated with Petroleum Hydrocarbons. *International Journal of Phytoremediation*, v. 7, n. 3, p. 177–197, 2005.

ZHAO, F. J.; DUNHAM, S. J.; MCGRATH, S. P. Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New Phytologist*, v. 156, n. 1, p. 27–31, 2002.

ZHU, E. et al. Effect of Nitrogen Fertilizer on Growth and Cadmium Accumulation in *Sedum Alfredii* Hance. *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, n. 1, p. 115–126, 2010.