

ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DOS ESTUDOS COM FITORREMEDIAÇÃO

SCIENTOMETRIC ANALYSIS OF PHYTOREMEDIATION STUDIES

Eudes Campelo Silva

Universidade Estadual de Goiás

eudescampelo@yahoo.com.br

Fernanda Melo Carneiro

Universidade Estadual de Goiás

fernanda.carneiro@ueg.br

RESUMO: 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, o presente trabalho fez uma análise cientométrica 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. 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 observado em outros trabalhos cientométricos, também identificamos um forte decréscimo temporal no número de artigos com um único autor. A maioria dos trabalhos foram produzidos por 4 autores. 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. Diante da grande diversidade de plantas conhecidas, provavelmente, o estudo mais aprofundado da genética, evolução e fisiologia de plantas 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: Plantas; *Brassicacac sp.*; *Salix sp.*; Poluição; Biorremediação.

ABSTRACT: 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, 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. 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. 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. Due to the great diversity of plants known, probably the most in-depth study of genetics, evolution and physiology of plants will involve 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: Plants; *Brassica* sp.; *Salix* sp.; Pollution; Biorremediation.

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). De acordo com Leonel e colaboradores (2010), 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 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 et al., 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 et al., 2010) e a eletrobiorremediação, técnica recente, que aumenta a biodisponibilidade combinando a biorremediação com a eletrocinética (ACUÑA et al., 2010; BAZTAN et al., 2014; MARTÍNEZ-PRADO et al., 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; Fitovolatização – 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).

Diante do promissor uso de técnicas de fitorremediação para solucionar parte dos problemas ambientais e consequente envolvimento da comunidade científica (BLACK, 1995; CUNNINGHAM & OW, 1996; BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 2003), esse trabalho se propõe a verificar as tendências dos trabalhos sobre fitorremediação. Para tanto, faremos um estudo cienciométrico, caracterizando quantitativamente tais trabalhos. A ciencimetria, criada na década de 60, 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).

Lima-Ribeiro e colaboradores (2007) consideram que a cienciometria é uma técnica quantitativa de avaliação da propagação do conhecimento científico e o fluxo da informação sob diversos enfoques. Indicadores originários da bibliometria, como frequência de artigos na base de dados e o fator de impacto são algumas das ferramentas da cienciometria (YAMAMOTO et al., 1999). Ela é descrita como campo de pesquisa e é um método de avaliação da qualidade de publicações científicas mundialmente difundidas (STREHL & SANTOS, 2002), sendo seus resultados importantes para os pesquisadores no entendimento do mecanismo da pesquisa científica com atividade social (AKERMAN, 2013).

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 cienciométricas 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. Foram identificados os artigos e autores com maior impacto sobre tema. Assim como os países com maior número de produção e os principais determinantes dessa produção. Investigou-se também a associação entre os tipos de contaminantes e as plantas utilizadas na fitorremediação.

METODOLOGIA

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 quantificações de artigos por ambiente foi utilizado 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 foi acrescentado o NOT mais o ambiente que não se queria na filtragem.

Análise dos dados

Para a análise temporal dos artigos sobre fitorremediação o número de artigo 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 realizado 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 CO_2 *per capita*. Os modelos foram comparados utilizando Critério de Informação de Akaike (AIC). Segundo esse critério, os melhores modelos possuem os menores valores de ΔAIC , valores de $\Delta AIC < 2$ são considerados bons modelos (BURNHAM & 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 CO_2 – Emissão de CO_2 *per capita* (The World Bank, 2015). As análises foram realizadas no *software R* (R, 2015) utilizando os pacotes *vegan* e *VennDiagram*.

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, para resumir o uso das plantas (variável descritora) para cada grupo de contaminante (variável resposta), foi feita uma Análise Componente Principal (PCA; LEGENDRE & LEGENDRE, 1998).

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 ($r = 0,983$ 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 & OW, 1996; BARCELÓ & 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; MERINO, 1998). Dessa forma, a imobilização, mobilização ou transformações de contaminantes inorgânicos via bioacumulação (NASCIMENTO; XING, 2006), biosorção, oxidação e redução, metilação (PILON-SMITS; LEDUC, 2009) dentre outras formas é mediado pela ação das plantas.

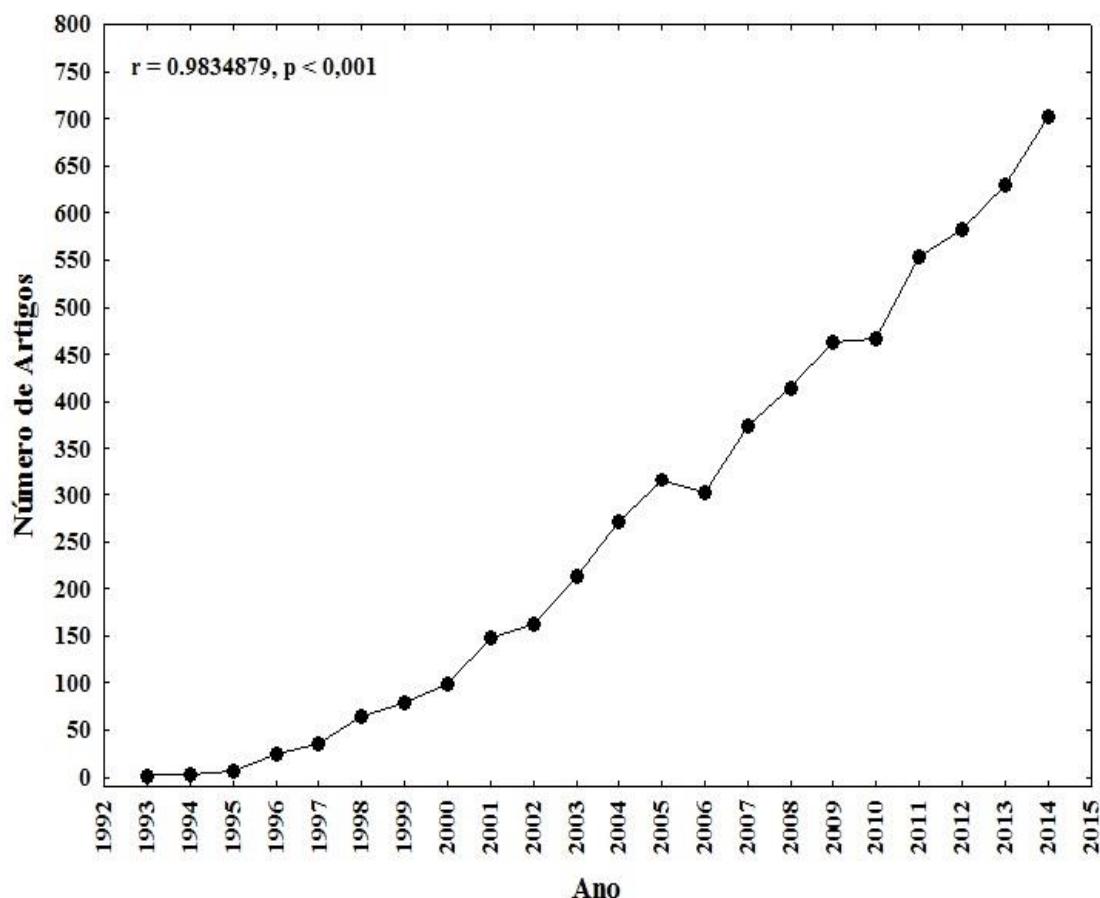


Figura 01 – Número de artigos publicados na base de dados Thomson – ISI com a palavra “phytoremediation*” no resumo, título e palavras-chaves no período de 1991-2014 ($r = 0,983$ e $p < 0,001$).

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 (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 trabalho nesses países sobre fitorremediação se deve ao aumento da atividade poluidora dos mesmos (ver tabela 3). Em um período em que existe uma preocupação global em se reduzir as emissões de CO_2 (ver relatório “*Trends in global CO_2 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 (IEA, 2014a). A Espanha foi o país da União Europeia que mais aumentou a taxa de poluição enquanto que outros países com alto grau de emissão diminuíram, o caso da Alemanha que diminui 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 há uma redução solicitada de 24% em 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 – Relação dos 20 países que mais publicaram sobre Fitorremediação, número total de publicações sobre o tema (Nº Artigos), correlação entre o número de publicações eo ano (Tendência – r), ordem crescente de publicações sobre Fitorremediação, posição mundial de publicações gerais desses mesmos países (Mundial).

País	Nº Artigos	Tendência - r	Fitorremediação	Mundial
Mundo	5913	0,98*	-	-
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

O asterisco (*) indica os valores significativos de r.

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 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 & 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), IDH; Emissões de CO₂ *per capita* (*metric tons per capita*) (CO2).

Variáveis	R ²	AIC	Δ AIC
PIB, CO2	0,911	249,969	0
PIB	0,889	251,274	1,305
PIB, <i>per capita</i>	0,904	252,402	1,433

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) *Global literature of fiddler crabs, genus Uca (Decapoda, Ocypodidae): trends and future directions.* e Marcionilio et al (2015) *The State of Global Scientific Literature on Chlorophyll-A.* Essa variável explica a soma da riqueza produzida por diversos setores da economia que são motivados pelo desenvolvimento tecnológico, que é influenciado pelo desenvolvimento científico. Outro ponto de destaque é a importância da variável CO₂, observa-se um coeficiente angular negativo, ou seja, os países que mais publicaram tendem a ter menores percentuais de emissão.

TABELA 3 - Seleção de modelos evidenciando para cada variável utilizada, a importância, 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
CO2	0,534	-0,156
<i>Per capita</i>	0,335	-0,119
IDH	0,231	0,079
Uni	0,181	0,099

Observamos um forte decréscimo temporal (Figura 2) do número de artigos com único autor nos trabalhos com fitorremediação ($r = -0.473$, $p < 0,05$). Essa mesma tendência já foi identificada em inúmeros trabalhos cienciométricos (ABT, 2007; 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; KORICHEVA, 2005; HSU; 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; STUMPF, 2010).

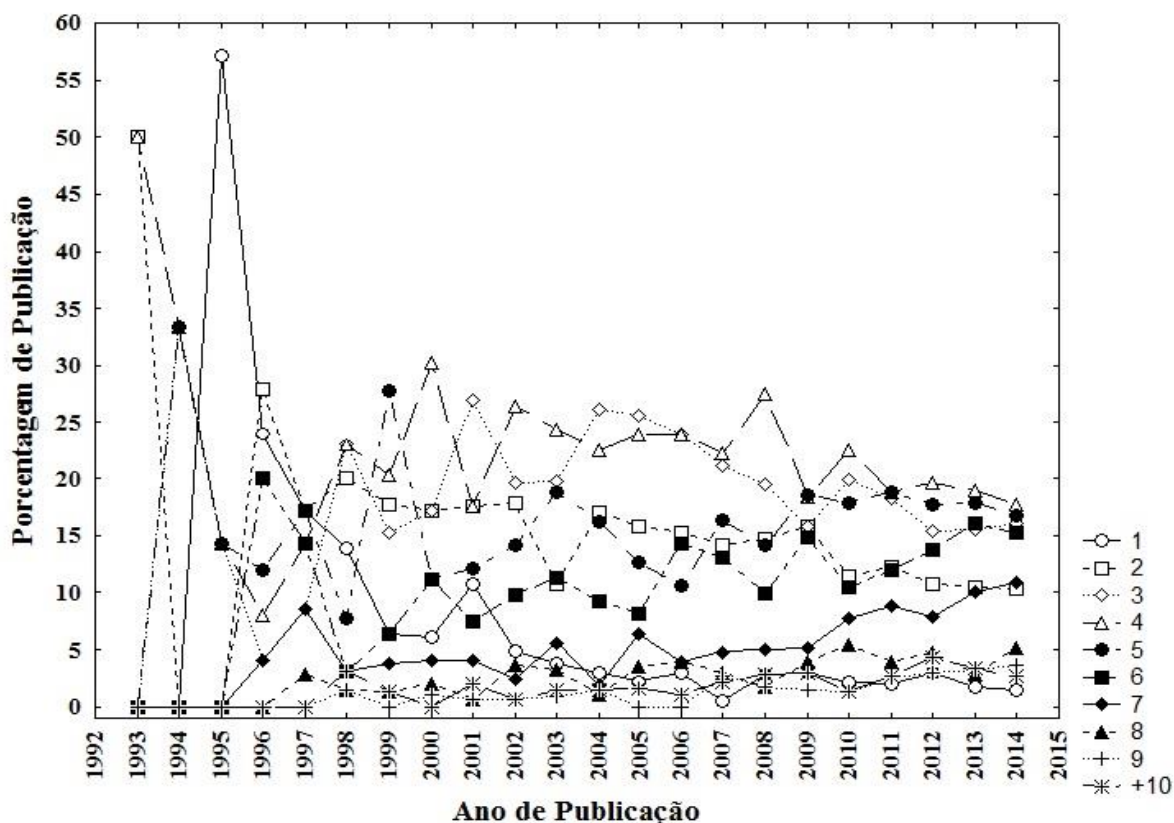


Figura 2 – Tendência temporal do número de artigos produzidos por um único autor até dez ou mais autores. Para a padronização o número de artigos de cada ano foi dividido pelo total de artigos do mesmo ano sobre fitorremediação. Estes valores foram, então, multiplicados por 100. Coeficientes de Correlação 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 $r = 0.7745041$, $p < 0,05$.

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; SANTOS, 2002; DASTIDAR, 2004; LEIMU; KORICHEVA, 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; KORICHEVA, 2005; MENEGHINI; MUGNAINI; PACKER, 2006). 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 & 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). Os trabalhos mais citados foram necessariamente os mais antigos, estando entre os anos de 1994 a 2003.

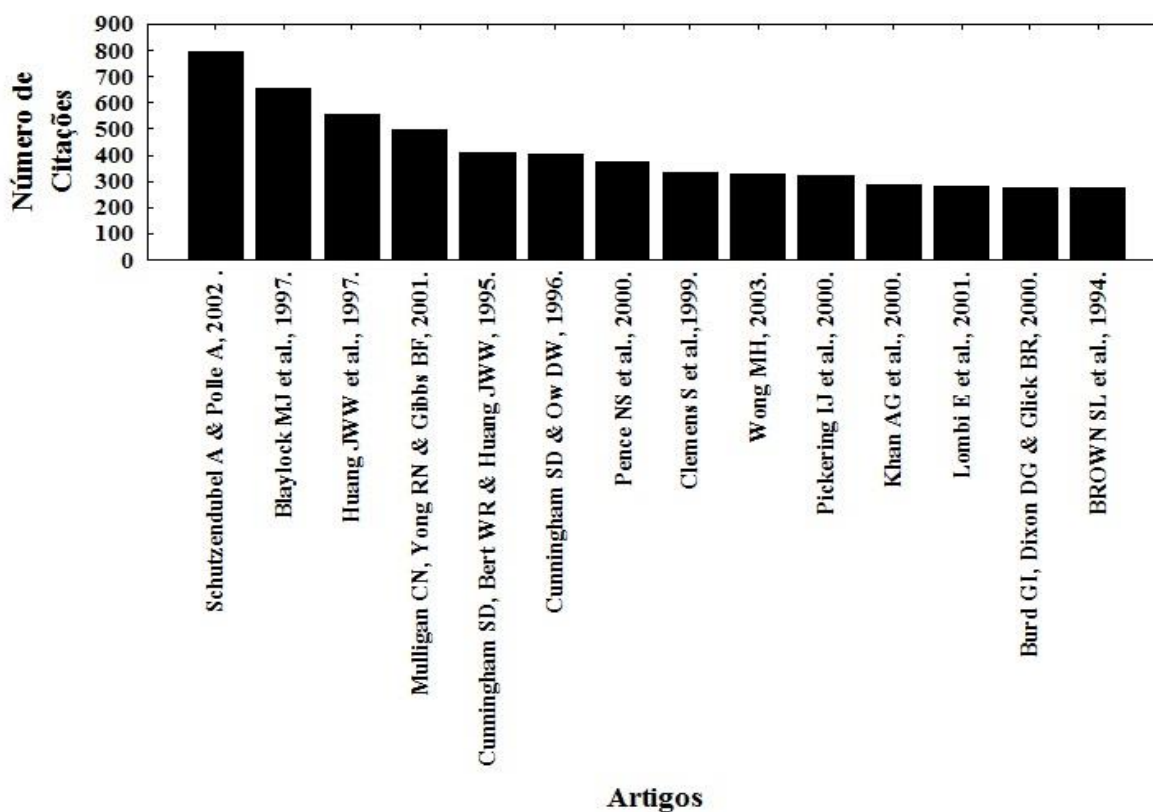


Figura 03 – Relação dos artigos mais citados sobre fitorremediação.

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* e possui 528 artigos e tem um FI de 1,739 e seu primeiro volume foi lançado em 1999. O Fator de impacto é um dos indicadores bibliométricos utilizados 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 & SANTOS, 2002).

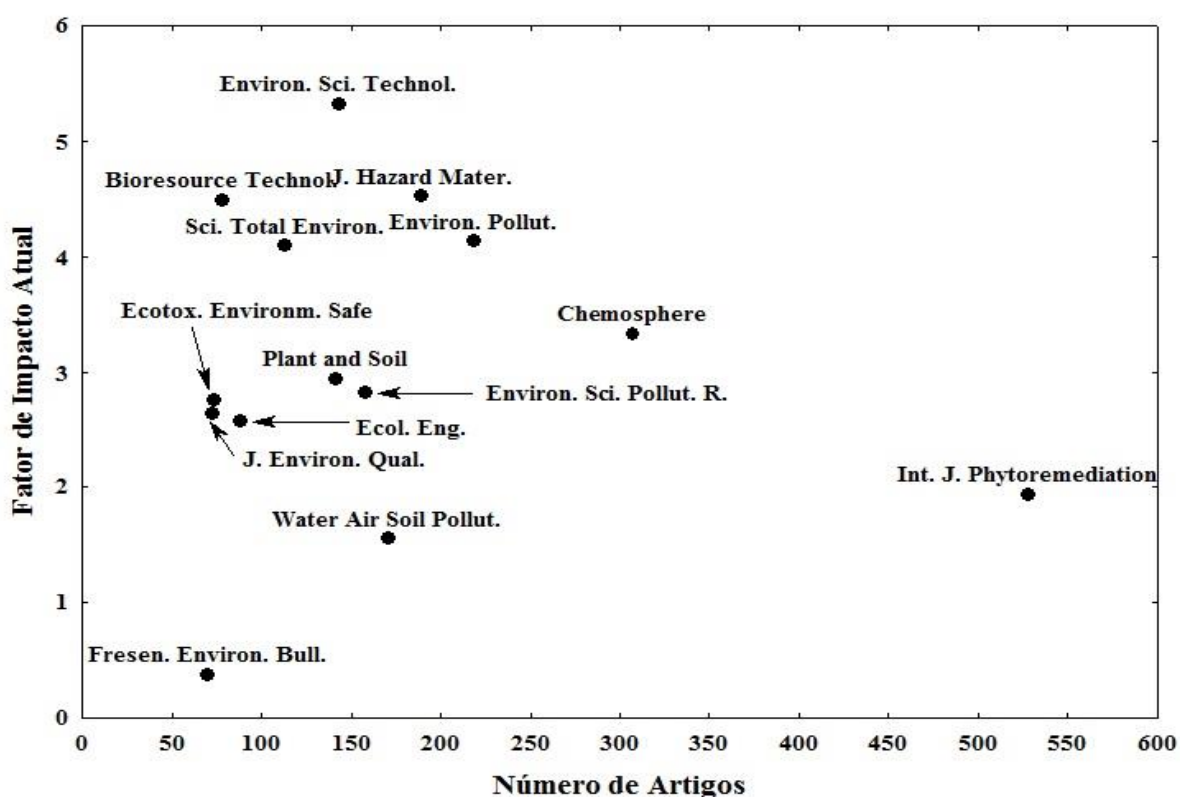


Figura 04 – Relação do Fator de Impacto para o ano de 2014 e o número de artigos das 14 revistas que mais publicaram sobre fitorremediação.

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). As médias de publicações dos estudos ligados ao solo diferem significativamente daquelas ligadas a solo e água (teste t $p < 0,05$).

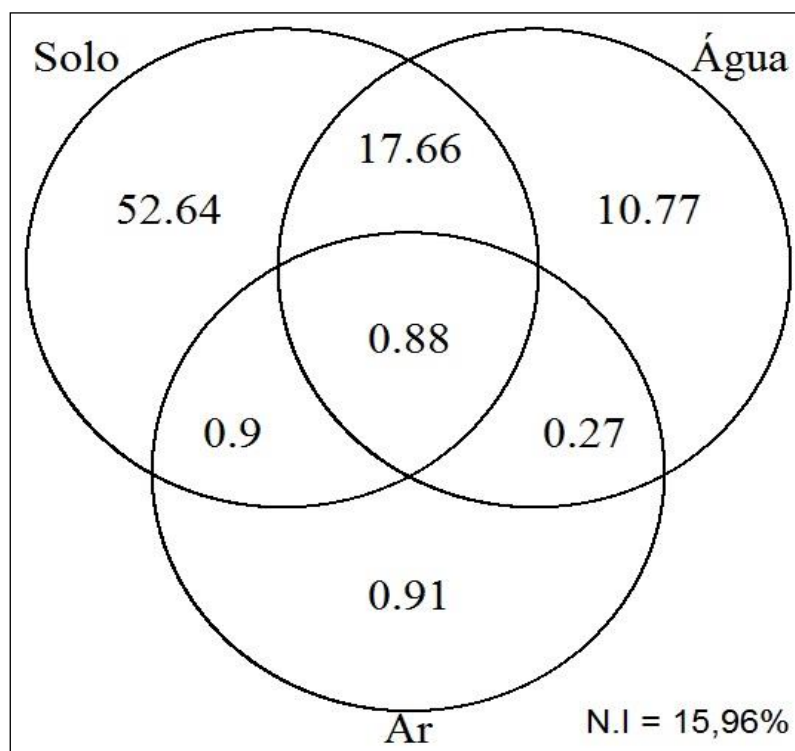


Figura 05 – Percentual de artigos produzidos a nível mundial levando em consideração o foco de estudo. Água (A), Solo (S), Ar (Ar), Não Identificado (N.I). Coeficientes de Correlação para os locais de estudos: S r = 0.9875, $p < 0,05$; A r = 0.9394, $p < 0,05$; Ar r = 0.8379, $p < 0,05$; S-A r = 0.9728, $p < 0,05$; 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 estudados 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 alimento no mundo 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; QUIGLEY, 2005).

Identificamos 506 espécies de plantas nas palavras-chaves dos 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* sp. são amplamente conhecidas pelo seu interesse econômico na alimentação como a mostarda, o nabo e o repolho. As outras espécies que tiveram destaque foram *Salix* sp. e *Populus* sp. pertencentes à família Salicaceae 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).

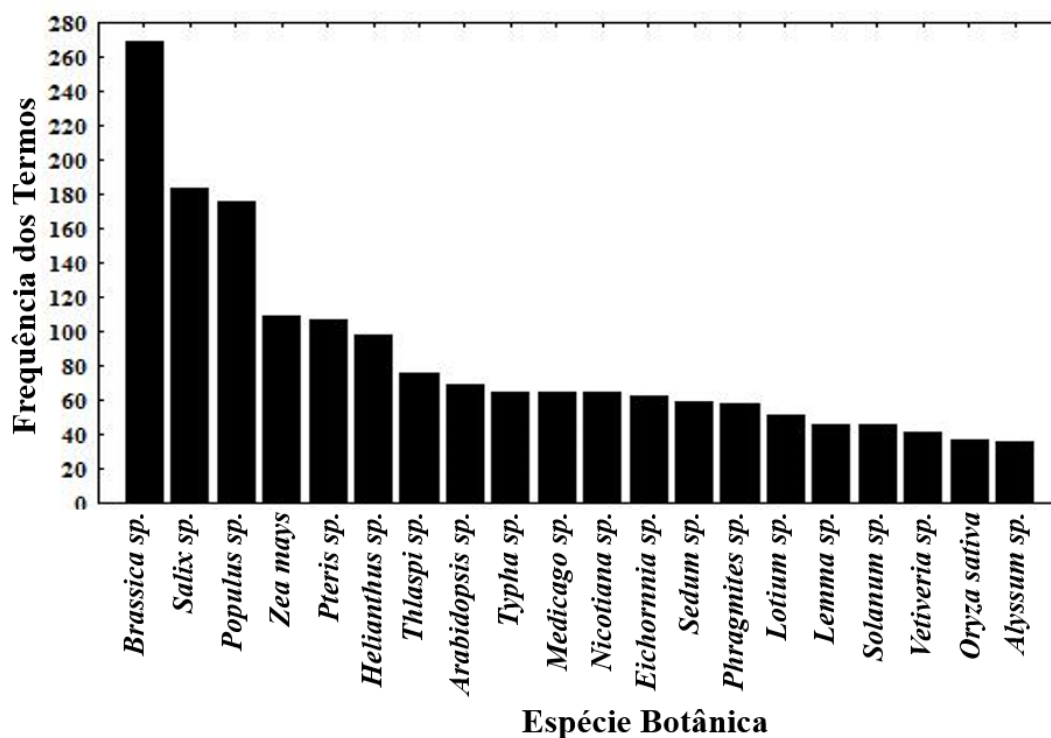


Figura 06 – Espécies botânicas mais citadas nas palavras-chaves dos trabalhos de fitorremediação.

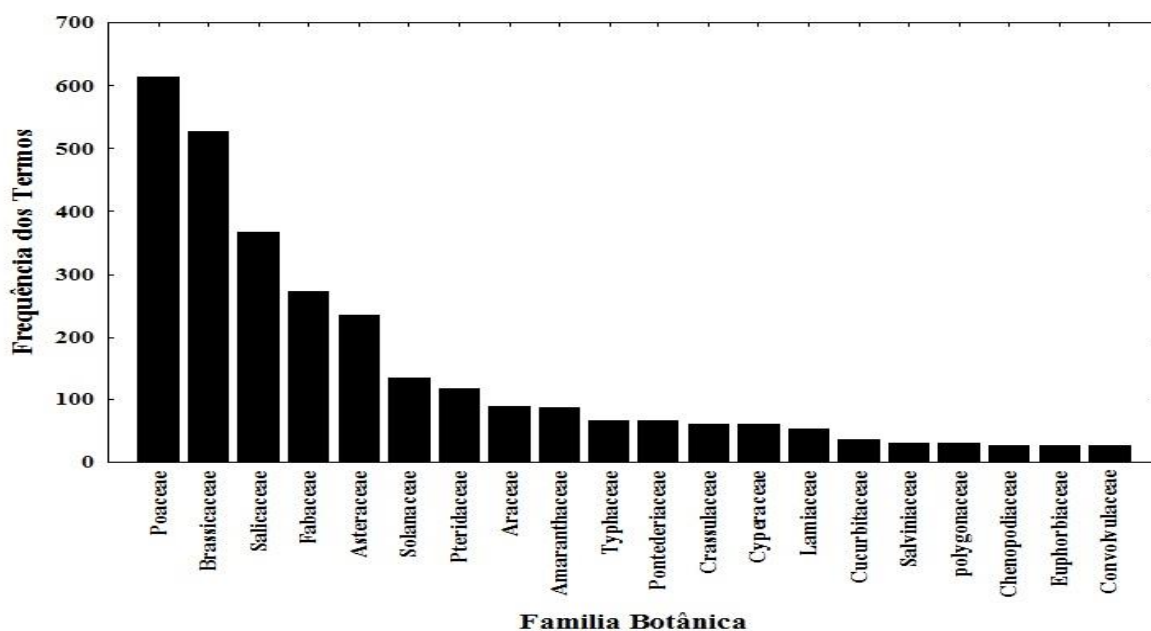


Figura 07 - Famílias Botânicas mais citadas nas palavras-chaves dos estudos de fitorremediação.

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). O nome da família Poaceae tem origem na palavra grega *Poa* que designa pastos ou plantas forrageiras, ocupam cerca de 40% da superfície terrestre ocorrendo em todos os continentes com exceção da Antártica (FREIRE FIERRO, 2004). 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).

Muitas espécies de Brassicaceae são de importância econômica, alimentar e ornamental (AL-SHEHBAZ, BEILSTEIN & KELLOGG, 2006). 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, ANDRÉ et al., 2007).

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),

bem como sistema radicular denso e profundo, evapotranspiração adequada, alta taxa de exsudação radicular, resistente a pragas e doenças, adaptabilidade, fácil associação com micro-organismos do solo, aquisição e manejo fácil e de ocorrência natural (USPA, 2000; PROCÓPIO et al., 2009).

Na análise de PCA os dois primeiros eixos explicaram 38% da variação dos contaminantes em função das espécies de plantas (Figura 8). O primeiro eixo explicou 20,83% da variabilidade dos contaminantes utilizados em função das plantas, enquanto que a segunda componente explicou 17,32%. Foi observado que um pequeno número de plantas (*Brassica* sp., *Salix* sp., *Populus* sp., *Zea mays* e *Helianthus* sp.) 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). Isso fornece um indicativo de que essas espécies de plantas têm sido amplamente estudadas para diversos poluentes. No eixo I verificamos que as plantas *Populus* sp., *Salix* sp., *Medicago* sp., *Phragmites* sp., *Lolium* sp. e *Pteris* sp. foram mais associadas a estudos ligados a contaminantes como: pesticida, PCB, explosivos, HP, P e PAH. Na análise do eixo 2 verifica-se que as plantas *Brassica* sp., *Alyssum* sp., *Thlaspi* sp., *Helianthus* sp., *Lemma* sp., *Zea mays* e *Sedum* sp. foram associadas aos contaminantes Ni, Pb, Fe, U, Se, Cr e efluentes.

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 et al., 2014). As duas espécies (*Salix* sp., *Populus* sp.) mais associadas ao eixo I pertencem a família Salicaceae (AYALA; 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 às 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).

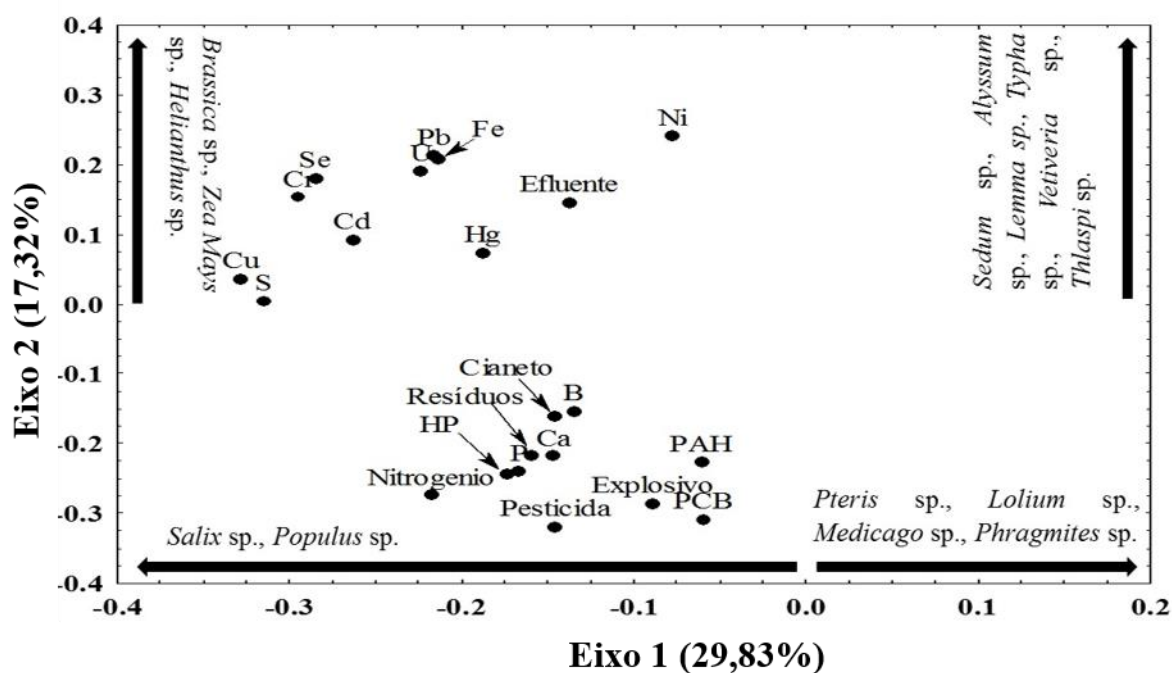


Figura 08 - Relação entre contaminantes e espécies de plantas utilizadas na fitorremediação através da PCA. São listadas as palavras-chaves que mais contribuíram para a formação das duas primeiras Axis.

Ainda no eixo 1 destaca-se outras plantas menos associadas a esses contaminantes como a planta *Medicago* sp. (alfafa) 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; 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). Outra planta que também não se restringiu a um único poluente é a samambaia (*Pteris vittata*) que apresentam 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; WINDISCH, 2000).

Para os contaminantes mais associados ao eixo 2, em geral metais e efluentes, verifica-se que mesmo sendo o maior número de contaminantes a maior associação ocorre com a *Brassica* sp. Essa planta tem sido associada a descontaminação de metais pesados como Cd,

Zn, Pb e Ni (BLAYLOCK et al., 1997; PODAR; RAMSEY; HUTCHINGS, 2004; ROMIH et al., 2012). Estudo 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). Outra planta de destaque no eixo 2 são 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). Dentre os mais variados gêneros de *Alyssum* as espécies *A. murale* e *A. corsicum* são frequentemente empregadas nos estudos com fitorremediação de ambiente contaminados com níquel (CHANEY et al., 2005; QIU et al., 2009, ANJUM et al., 2012). O milho (*Zea mays* L.) também destacada neste eixo tem apresentado sucesso na descontaminação de Cd, Pb e Zn (WANG et al., 2007; NEUGSCHWANDTNER et al., 2012) e de efluentes (YASIN; FAISAL, 2013). Com menor frequência na descontaminação de pesticidas (MUKHERJEE; KUMAR, 2012) e na promoção da rizodegradação de compostos derivados do PAH (YOSHITOMI; SHANN, 2001). Outras plantas mais precisamente as 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 PCA. Planta 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. 2010; LI and 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. 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Assim como uma maior preocupação da ciência em alternativas mais sustentáveis e econômicas para os problemas ambientais. 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 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 (506 espécies) a maioria dos trabalhos se concentrou em apenas em três espécies de plantas, 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 utilizados como fitorremediadoras.

Há a necessidade da ampliação de estudos relativos à descontaminação do ar, mesmo tendo crescimento temporal observados nos resultados, o percentual desses estudos ainda é muito pequeno (0,91%). A relação entre microorganismos e plantas também seria um interessante alvo para futuros estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-SHANAB, R.A.I. et al. Characterization of Ni-resistant bacteria in the rhizosphere of the hyperaccumulator *Alyssum murale* by 16S rRNA gene sequence analysis. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, n. 1, p. 101–108, 2010.

ABT, H.A. The future of single-authored papers. **Scientometrics**, v. 73, n. 3, p. 353–358, 2007.

AKSNES, Dag W. Characteristics of highly cited papers. **Research Evaluation**, v. 12, n. 3, p. 159–170, 1 dez. 2003.

ANJUM, N. A. et al. **The Plant Family Brassicaceae**. Dordrecht: Springer Netherlands. v. 21, 2012.

ALGUACIL, F. J.; MERINO, Y. Biotratamiento de contaminantes de origen inorgánico. **Revista de Metalurgia**, v. 34, n. 5, p. 428–436, 1998.

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.

AYALA, M. M.; SOLANO, E. **Salicaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.** México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011. p. 1–14.

BALATINECZ, J.J.; KRETSCHMANN, D.E. **Properties and utilization of poplar wood.** In: DICKMANN, D.I.; ISEBRANDS, J.G.; ECKENWALDER, J.E.; RICHARDSON, J. (Ed.). *Poplar culture in North America.* Ottawa, Canada. NRC Research Press, 2001. p.277-291.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Phytoremediation: principles and perspectives. **Contributions to Science**, v. 2, n. 3, p. 333–344, 2003.

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, 29 fev. 2014.

BELNAP, J. 1995. 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.

BLACK, H. Absorbing possibilities: phytoremediation. **Environmental Health Perspectives**, v. 103, n. 12, p. 1106–1108, 1995.

BLAIR, J.; NIPPERT, J.; BRIGGS, J. Grassland Ecology. **Ecology and the Environment**, p. 389–423, 2014.

BORGES, L. L. et al. Influence of environmental factors on the concentration of phenolic compounds in barks of *Myrcia tomentosa* (Aubl.) DC. **Journal of Pharmacy Research**, v. 5, n. 3, p. 1323–1327, 2012.

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.

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.

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.

CROCHEMORE, M. L. **Variabilidade genética da alfalfa: Marcadores agromorfológicos e moleculares.** Londrina PR: IAPAR, 59p, 1998.

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.

DICKMANN, D.I. **An overview of the genus Populus**. In: DICKMANN, D.I.; ISEBRANDS, J.G.; ECKENWALDER, J.E.; RICHARDSON, J. Poplar culture in North America. Ottawa, Canada. NRC Research Press, 2001. p.1-42.

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.

EBEL, M.; EVANGELOU, M. W. H.; SCHAEFFER, A. Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*). **Chemosphere**, v. 66, n. 5, p. 816–823, 2007.

ESTRELA, T.; PÉREZ-MARTIN, M. A.; VARGAS, E. Impacts of climate change on water resources in Spain. **Hydrological Sciences Journal**, v. 57, n. 6, p. 1154–1167, 2012.

FAO, 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.

FLOCCO C G, et al., 2004. 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.

FMI. **Fundo Monetário Internacional**. Disponível em: <<https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata/index.aspx>>. Acessado em: 2015.

FREIRE, F. A. **Botânica Sistemática Ecuatoriana**. St. Louis: Murray Print, 2004.

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.

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.

GRATÃO, P. L. et al. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. Brazilian, **Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.53-64, 2005.

HOLM, G. L. et al.. **The world’s worst weeds**. Malabar: Krieger Publishing Company, 1991.

HOLM, L.; YEO, R. The biology control and utilization of aquatic weeds, part I. **Weeds Today**, p. 7–13, 1980.

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.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY,. **CO2 Emissions from Fuel Combustion 2014**. Paris - França: IEA, 2014a.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion**. CO2 emissions from fuel combustion(2014 Edition), p. 12, 2014b.

JAPPE, A. Explaining international collaboration in global environmental change research. **Scientometrics**, v. 71, n. 3, p. 367–390, 2007.

KABATA-PENDIAS. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2011.

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., 2001. Evolutionary History of the Grasses. **Plant physiology**, v. 125, p. 1198–1205, 2001.

KUMAR, R. P. Heavy Metal Pollution in Lentic Ecosystem of Sub-Tropical Industrial Region and its Phytoremediation. **International Journal of Phytoremediation**, v. 12, n. 3, p. 226–242, 2010.

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, mar. 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.

LEIMU R & KORICHEVA J, 2005. Does Scientific Collaboration Increase the Impact of Ecological Articles? **BioScience**, v. 55, n. 5, p. 438, 2005.

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.

LU, X. et al. Interaction of veterinary antibiotic tetracyclines and copper on their fates in water and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Journal of Hazardous Materials**, v. 280, p. 389–398, 2014.

MADEJO, N. P. **Elementos traça y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero de Aznalcoíllar**, PhD dissertation, University of Seville, Seville, Spain, 2004.

MAJONE, B. et al. Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gállego river basin (Spain). **Water Resources Research**, v. 48, n. 1, p. 1–18, 2012.

MARCIONILIO, S. M. L. O.; ALVES; M. T. R.; BORGES, P. P; MACHADO, K. B.; C. ARAÚJO, S. T.; CUNHA, H. F.; NABOUT, J. C. The state of global scientific literature on chlorophyll-a. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 941-950, 2015.

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, 17 jan. 2007.

MAY, A. et al. **A Cultura da Couve-Flor**. *Boletim Técnico IAC*, Tecnologia APTA., nº 200. Campinas - SP, 2007.

MAY, R. M. SCIENCE PRIORITIES: The Scientific Investments of Nations. **Science**, v. 281, n. 5373, p. 49–51, 2009.

MEHARG, A. A. Variation in arsenic accumulation - hyperaccumulation in ferns and their allies. **New Phytologist**, v. 157, n. 1, p. 25–31, 2003.

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.

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 JC et al., 2015. 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 CWA & XING B, 2006. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 3, p. 299–311.

OLIVIER, J. G. J. et al. **Trends in global CO₂ emissions 2014 report**. PBL and JR ed. Haia - Holanda: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014.

OLIVER, J.M.M. **Chopos Y choperas**. Madrid, Ediciones Mundi – Prensa, 1988, 124p.

PADIAL, A. A. et al. Weak evidence for determinants of citation frequency in ecological articles. **Scientometrics**, v. 85, n. 1, p. 1–12, out. 2010.

PIERRO, B. D. 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.

PNUD. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDH-Global-2013.aspx>>

POPIVSHCHY, I.I.; PROKAZIN, A.E.; ROUTKOVSKY, L.V. Black poplar in the Russian Federation, in: Turok J., Lefevre F., de Vries S., Toth B. (Eds.), *Populus nigra* Network. Report of the third meeting, Sarvar, Hungary, 5-7 Outubro 1996, IPGRI, Roma, 1997, pp. 46-52.

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.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas**. Aracaju - SE: Embrapa, 2009.

QIU, R. et al., 2009. 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.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2015.

ROCA J et al., 2001. Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. **Ecological Economics**, v. 39, n. 1, p. 85–99.

RODRIGUES, A. A.; COMERÓN, E.A.; VILELA, D. Utilização da Alfafa em Pastejo para Alimentação de Vacas Leiteiras. In: FERREIRA R P, et al. Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, p.345-378, 2008.

SRISATIT, T.; KOSAKUL, T.; DHITIVARA, D. Efficiency of Arsenic Removal From Soil by *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash and *Vetiveria nemoralis* (Balansa) A. Camus. **ScienceAsia**, v. 29, p. 291–296, 2003.

STREHL, L.; SANTOS, C. A. Indicadores de Qualidade da Atividade Científica. **Ciência Hoje**, v. 31, n. 186, p. 34 – 39, 2002.

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.

TEIXIDO, A. L. et al., 2010. Impacts of changes in land use and fragmentation patterns on Atlantic coastal forests in northern Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 4, p. 879–886, 2010.

THE WORLD BANK. Disponível em:
<<http://data.worldbank.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC>>

VANZ, A. S. S.; STUMPF I. R. C. Colaboração científica: revisão teórico-conceitual. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 15, n. 2, p. 42–55, 2010.

VARGAS-AMELIN, E.; PINDADO, P. The challenge of climate change in Spain: Water resources, agriculture and land. **Journal of Hydrology**, v. 518, p. 243–249, 2014.

WEBOMETRICS RANKING OF WORLD Universities. Disponível em:
<<http://www.webometrics.info/en/node/54>>. Acessado em: 2015

WHITFIELD, J. Collaboration: Group theory. **Nature**, v. 455, n. 7214, p. 720–723, 2008.

WWAP, United Nations World Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris - França: UNESCO, 2015.

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, jul. 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.

SOBRE O AUTOR E A AUTORA

Eudes Campelo Da Silva

Possui graduação em Biologia pela Universidade Estadual de Goiás (2003). Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado (2016)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5958305427336460>

Fernanda Melo Carneiro

Possui graduação em Ciências Biológicas (licenciatura) pela Universidade Estadual de Goiás (2005), mestrado (2007) e doutorado (2012) em Ecologia e Evolução pela Universidade Federal de Goiás. Realizou doutorado Sanduíche no laboratório de comunidade e ecologia quantitativa da Université du Québec à Montréal (UQAM - Montreal - Canada). É professora efetiva da Universidade Estadual de Goiás atuando nos cursos de pós graduação stricto sensu em Recursos Naturais do Cerrado, pós-graduação lato sensu em Gestão e Biossegurança em Estética e Cosmética e no curso de graduação em Estética e Cosmética.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8004474939716295>

Recebido para publicação em dezembro de 2019

Aprovado para publicação em maio de 2020