

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO MECANISMO DE REDUÇÃO DE LODO: LISE CELULAR - DESINTEGRAÇÃO DE LODO

Rosane Ebert Miki⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria – RS em 1988. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP / São Paulo / SP em 1992. Engenheira da Sabesp desde 1994. Coordenadora de Pesquisa e Desenvolvimento, de 1997 a 1999. Gerente de Operação e Manutenção de ETEs de 1999 a 2006. Atualmente, Engenheira do Deptº de Prospecção Tecnológica e Propriedade Intelectual-TXP da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação-TX.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - País - Tel:+55 (11) 3388-9543 - Fax:+55 (11) 3388-8695 - e-mail: rebert@sabesp.com.br.

RESUMO

O tratamento de lodo tem se tornado um dos maiores desafios nas estações de tratamento de esgotos- ETEs. Muitos estudos têm sido produzidos desde os anos 90 sobre mecanismos de redução de lodo. Dentre estes mecanismos destaca-se a lise celular ou desintegração de lodo e crescimento críptico, caracterizado pela reutilização de compostos intracelulares liberados por lise celular ou desintegração para o crescimento de células viáveis da mesma população. As tecnologias podem ser integradas nas unidades de tratamento de esgotos ou nas unidades de tratamento de lodo e classificadas como: desintegração mecânica ou física, que inclui o uso de ultrassom; tratamentos elétricos; térmicos; químicos, que inclui o uso de ozônio; biológicos utilizando enzimas e híbridos. Para monitoramento e identificação de tendências tecnológicas foi desenvolvido um estudo de prospecção de tecnológica para tema desintegração de lodo ou lise celular com base em artigos técnicos e documentos de patentes. Nos artigos técnicos as tecnologias mais estudadas são os tratamentos mecânicos, especialmente o ultrassom, seguido dos químicos com uso do ozônio e térmicos. Nos documentos de patentes observou-se a mesma tendência, com destaque para os processos mecânicos, seguido pelos métodos híbridos e químicos.

PALAVRAS-CHAVE: lise celular, desintegração de lodo, prospecção tecnológico.

INTRODUÇÃO

O tratamento de lodo tem se tornado um dos maiores desafios nas estações de tratamento de esgotos- ETEs sendo que o volume de lodo produzido em uma ETE representa respectivamente, 1% do volume esgoto bruto a ser tratado e 0,5% deste volume para o lodo desidratado. Estima-se que a produção de lodo no Brasil está entre 220 mil toneladas por ano (PEDROZA et al., 2010) a 372 mil toneladas por ano (FEDRIZZI, 2012). Quando o Brasil alcançar padrões e abrangência de tratamento de esgoto comparado a países desenvolvidos, a geração de lodo será na ordem de 4 milhões de toneladas por ano (BIOCICLO - USO AGRÍCOLA, 2011). A minimização de lodo refere-se a princípio à redução de massa de lodo ou biossólidos produzidos em uma ETE. Os estudos de redução atuais têm por objetivo a redução de volume de lodo úmido e a redução da massa seca de lodo. Os métodos propostos são baseados em tratamentos físicos, mecânicos, químicos, térmicos e biológicos e a maioria deles visa solubilização de sólidos e desintegração das células bacterianas no lodo, objetivando:

- Reduzir a produção de lodo de produção diretamente nas unidades de tratamento de esgotos;
- Reduzir a massa de lodo nas unidades de tratamento de lodo e, simultaneamente, melhorar a produção de biogás na digestão anaeróbia ou, em alguns casos a drenabilidade do lodo ou ainda produzir fonte de carbono adicional para favorecer a desnitrificação e remoção de fósforo de unidades de tratamento de esgotos.

Os mecanismos chave de redução de lodo que podem ser incorporados que podem nas unidades de tratamento de esgoto ou unidades de tratamento de lodo são apresentados segundo FOLADORI ET al.(2010) são lise celular - crescimento críptico; metabolismo endógeno, predação microbiano e oxidação hidrotérmica. No presente artigo será abordado o mecanismo de lise celular ou desintegração de lodo e o crescimento críptico, caracterizada pela reutilização de compostos intracelulares (compostos de carbono e nutrientes) liberados por lise celular ou desintegração para o crescimento de células viáveis da mesma população. As tecnologias de lise celular ou desintegração do lodo podem ser integradas nas unidades de tratamento de esgotos ou nas unidades de tratamento de lodo, conforme será detalhado ao longo deste artigo. Com relação a sua aplicação em escala natural, existem sistemas na Europa, especialmente, Alemanha e também Estados Unidos. De forma a mapear os desenvolvimentos técnicos e científicos e tecnológicos da técnica de **desintegração de lodo ou lise celular**, de forma estruturada, foi desenvolvido um estudo prospectivo tecnológico para o tema, que vem a ser segundo SALLES-FILHO e ZACKIEWICZ (2001), um conjunto de atividades de busca e interpretação de informações quantitativas e qualitativas, objetivas e subjetivas, com o objetivo de planejar as ações futuras de P&D. O desenvolvimento deste estudo requer o emprego de técnicas e métodos de prospecção tecnológica. No presente estudo optou-se pelo levantamento e análise da produção técnica e científica registrada em artigos publicados em periódicos acadêmicos de circulação internacional e documentos de patentes. Ambas as informações podem ser acessadas através de buscas em banco de dados estruturados.

OBJETIVO

Neste trabalho pretende-se desenvolver um estudo de prospecção tecnológica para identificar os desenvolvimentos técnico-científicos e tecnológicos do mecanismo de minimização de lodo – desintegração de lodo ou lise celular, bem como uma revisão da literatura das respectivas tecnologias com identificação do grau de desenvolvimento e aplicação das mesmas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A discussão e proposição de metodologia serão feitas através de citações bibliográficas, conceituando os princípios e as tecnologias de desintegração de lodo ou lise celular estudadas, destacando vantagens e desvantagens de cada tecnologia. O passo seguinte consiste na conceituação e definição da metodologia a ser aplicada para desenvolvimento do estudo prospectivo do tema desintegração de lodo ou lise celular, que inclui estratégia de busca das informações em bancos de dados estruturados e tipo de informação a ser analisada.

Tecnologia de lise celular – desintegração de lodo: conceitos e classificação

Os mecanismos chave de redução de lodo e respectivas técnicas de tratamento, que podem ser incorporados nas unidades de tratamento de esgoto ou unidades de tratamento de lodo são apresentados na Tabela 1 (FOLADORI et al., 2010).

Tabela 1- Mecanismos de redução de lodo e respectivas técnicas de tratamento.

Mecanismos	Lise Celular - Crescimento Críptico	Metabolismo Endógeno	Predação Microbiano	Oxidação Hidrotérmica
------------	-------------------------------------	----------------------	---------------------	-----------------------

Técnicas integradas em unidades de tratamento de esgotos	<ul style="list-style-type: none"> • hidrólise enzimática; • tratamento mecânico ou físico (ultrassom, tratamento campo elétrico); • tratamento térmico; • tratamento químico e termoquímico (ozônio ou outros oxidantes); • híbridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • digestão aeróbia; • digestão anaeróbia 	<ul style="list-style-type: none"> • predação por protozoários e metazoários 	<ul style="list-style-type: none"> • oxidação ao ar úmido; • oxidação da água supercrítica
---	---	---	---	--

As tecnologias de lise celular ou desintegração do lodo, objeto deste estudo, podem ser integradas nas unidades de tratamento de esgotos ou nas unidades de tratamento de lodo, podendo ser aplicadas na linha de retorno de lodo ativado (A), na linha de descarte de lodo (C), na linha de lodo adensado (B) ou na linha de recirculação de lodo digerido (D), conforme identificado no esquema a seguir. Do ponto de vista econômico, algumas técnicas são mais vantajosas quando aplicadas a lodos com elevado teor de sólidos, tais como no lodo ativado de retorno (A) ou lodo adensado (B), conforme ilustrado na Figura 1 (FOLADORI et al., 2010).

Diferentes tecnologias de desintegração de lodo ou lise celular têm sido investigadas para aplicação, tanto no sistema de tratamento de esgotos como de lodo de ETEs, e classificado de acordo com os seguintes princípios:

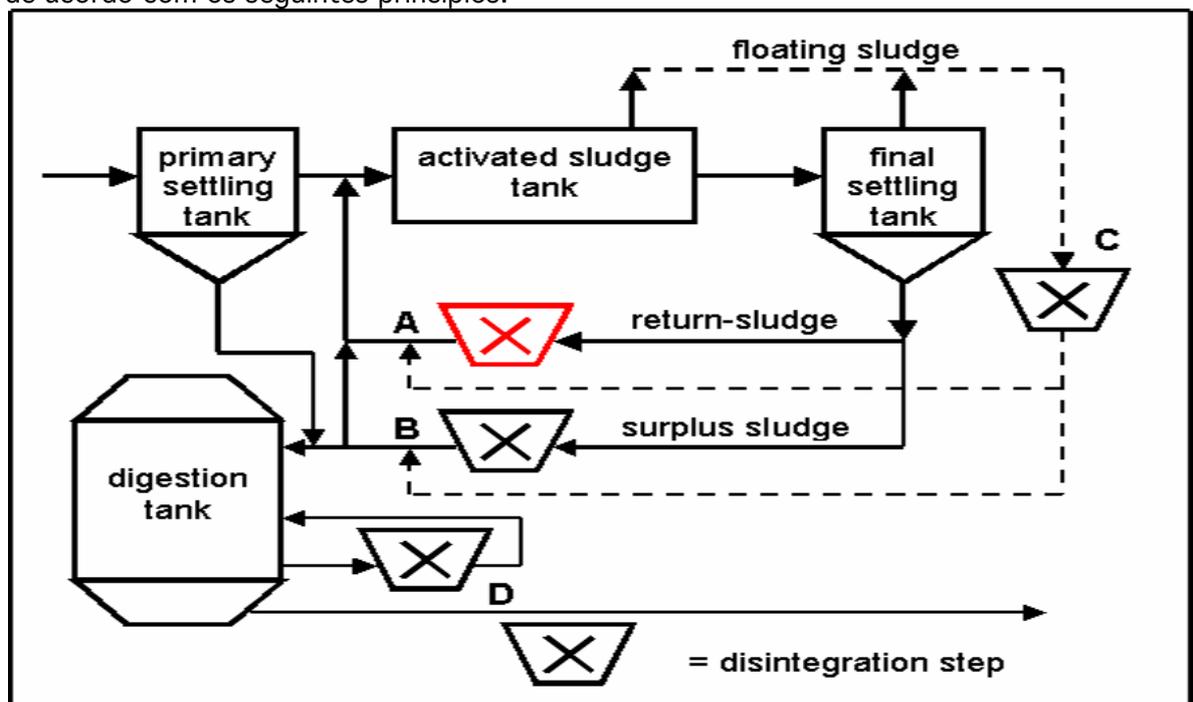


Figura 1 – Fluxo de uma ETE com identificação de pontos para instalação de sistemas de lise celular.

- Tratamento térmico, especialmente na faixa de temperatura de 40-150 °C, podendo chegar a 220 °C, e tratamento com micro-ondas.
- Desintegração mecânica ou física por meio de esferas agitadas, tratamento com ultrassom, homogeneizadores, esferas agitadoras e tratamento elétrico;
- Processos de oxidação usando ozônio, peróxido de hidrogênio (H₂O₂) ou cloração e tratamento químico com ácido e álcali.
- Tratamento biológico utilizando enzimas - hidrólise enzimática com/sem adição de enzimas;
- Processos híbridos, que resultam da combinação das técnicas de desintegração de lodo.

Métodos mecânicos e/ou físicos

Os processos de desintegração mecânica do lodo tem origem no campo da biotecnologia, de forma a descobrir o instante da ruptura celular e o resultado imediato de liberação de compostos extracelulares. De acordo com MÜLLER ET al. (2004), a aplicação de tratamento mecânico induz alterações nas propriedades do lodo tais como: danos aos microrganismos; lise celular- crescimento críptico; redução do tamanho do floco: o efeito é um aumento de acessibilidade entre bactérias, substratos e enzimas; melhoria/piora da sedimentabilidade e drenabilidade; redução de espuma; aumento da demanda de flocculante; redução de viscosidade: a desintegração causa uma redução da viscosidade do lodo, que facilita operações de mistura e bombeamento.

A desintegração mecânica pode ser obtida usando vários tipos de equipamentos, sendo que a eficiência de desintegração e a energia específica requerida dependem tanto do equipamento usado quanto da natureza do lodo a ser tratado, tais como tamanho da partícula, teor de sólidos, etc. Assim, na escolha do processo desintegração mecânica devem ser considerados tanto a eficiência quanto os custos com investimento, gestão e energia, bem como o nível de desgaste do equipamento usado. Para os métodos mecânicos a energia necessária para a ruptura das células é fornecido na forma de pressão e energia de translação ou de rotação. Até o momento as principais técnicas propostas para desintegração do lodo, avaliadas em escala de laboratório ou já em uso em escala natural, são (adaptado de FOLADORI ET al., 2010):

- Esferas de trituração agitadas, que promovem a desintegração por esmagamento das partículas.
- Homogeneizador de alta pressão promove a desintegração por efeitos de cavitação, devido à liberação súbita de pressão.
- Desintegração ultrassônica, que promove a desintegração do lodo pela geração de cavitação.
- Energia pulsada- campo elétrico.
- Centrífuga de lise e adensamento: centrífuga de adensamento equipada com ferramentas adicionais de corte de giro (dispositivos rotativos adicionais de corte) para desintegração do lodo.
- Jato de alta pressão e colisão, com princípio similar ao da flotação por ar dissolvido.
- Sistema de desintegração rotor-estator.

Para melhor entendimento de cada tecnologia são apresentados conceitos e princípios de funcionamento destas tecnologias.

A **centrífuga de lise e adensamento** é uma centrífuga de adensamento equipada com ferramentas adicionais de corte de giro (dispositivos rotativos adicionais de corte) para desintegração do lodo. A engrenagem especial de impacto está incorporada na centrífuga e está localizado onde o lodo adensado sai da centrífuga, conforme ilustrado na Figura 2 (adaptado de FOLADORI ET al., 2010):

O equipamento permite que se obtenha simultaneamente o adensamento e a desintegração parcial do lodo. Este equipamento tem a capacidade de tratar grandes volumes de lodos com moderado consumo de energia (ZÁBRANSKÁ et al. 2006).

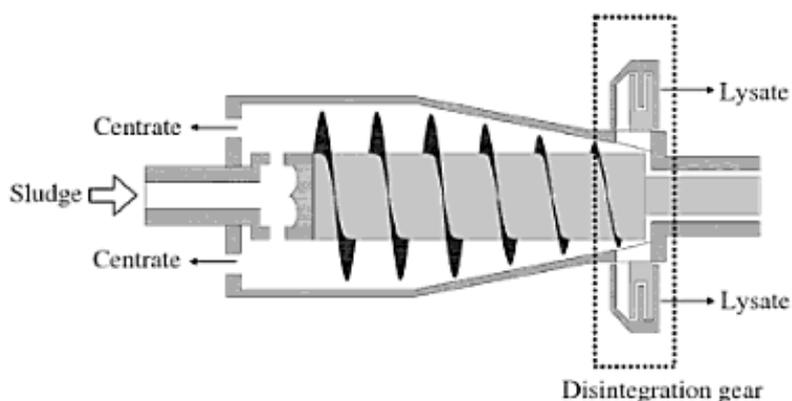


Figura 2- Layout de uma centrífuga de lise e adensamento.

A **desintegração mecânica por ultrassom** consiste de um gerador de ultrassom, operando em frequências de 20-40 kHz e em um dispositivo para transmitir impulsos mecânicos para massa líquida. Este dispositivo, um cristal cerâmico composto por material piezolétrico transforma impulsos mecânicos, que são transmitidos para o lodo por um sonotrodo, conforme ilustrado na Figura 3. A aplicação de ultrassom, ondas de pressão provocam a cavitação de bolhas formadas na fase líquida, que crescem e, em seguida, implodem liberando elevada energia localizada (aquecimento local e alta pressão), que causam a desintegração do lodo e, à elevada energia, a ruptura das células microbianas. Existem várias aplicações em plantas em escala natural de sistemas de desintegração com ultrassom integrado nas unidades de tratamento de lodo. Já as aplicações em sistemas de lodos ativados são raras devido aos custos (adaptado de FOLADORI ET al., 2010).

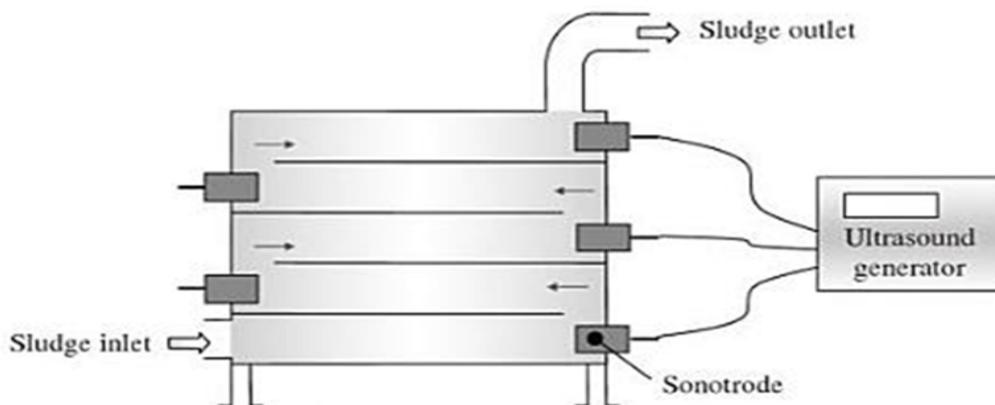


Figura 3- desintegração mecânica por ultrassom

Esferas de trituração agitadas, que promovem a desintegração por esmagamento das partículas. Consiste de uma câmara de trituração cilíndrica (vertical ou horizontal) com volume superior a 1 m³, equipado com virabrequim central rotativo, conforme ilustrado na Figura 4. A câmara é quase que completamente preenchida com esferas de trituração; um rotor ajustado com lâminas corte variável que contam com movimento rotacional. A desintegração do lodo é causada por forças de cisalhamento e pressão entre as esferas. Para uma operação contínua, as esferas são retidas por uma peneira, enquanto que o lodo escoo pela câmara (Winter, 2002).

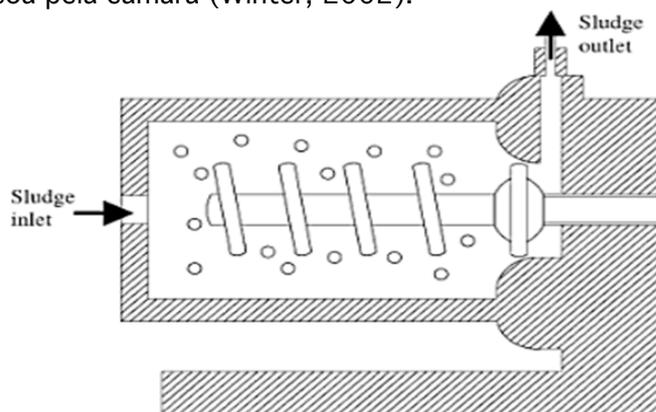


Figura 4 - Configuração simplificada de da tecnologia de esferas de trituração agitadas.

Homogeneizador de alta pressão promove a desintegração por efeitos de cavitação, devido à liberação súbita de pressão. A aplicação desta tecnologia para redução de lodo de ETEs consiste de uma bomba de alta pressão, que comprime o lodo até varias centenas de bar e de uma válvula de homogeneização ajustável, onde ocorre a descompressão do lodo para pressão atmosférica (ver Figura 5). Ao passar pela válvula de homogeneização a velocidade do lodo sofre um aumento de até 50 vezes (até 300 m/s) devido à restrição

imposta. O aumento de velocidade causa uma rápida queda de pressão para valores inferiores a pressão de vapor (cavitação) e induz a colisão entre as partículas de lodo. Todas estas reações causam a desintegração de flocos e ruptura das células (Stünkmann et al., 2006).

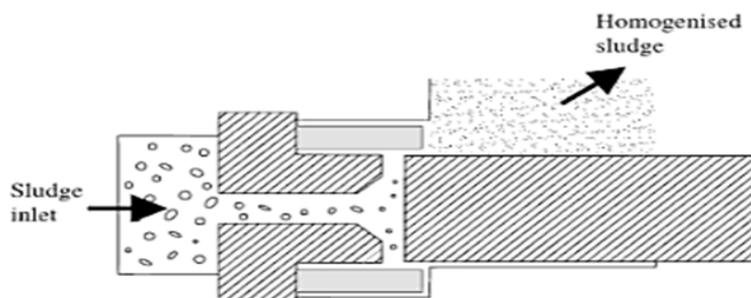


Figura 5- Secção da válvula de homogeneização.

Destes sistemas de desintegração de lodo, operam com fluxo contínuo os sistemas de centrífuga de lise e adensamento; esferas de trituração agitadas; homogeneizadores de alta pressão; jato de alta pressão e colisão, e com configurações de fluxo contínuo e modo batelada, a desintegração ultrassônica.

Métodos térmicos

A aplicação de um tratamento térmico ao lodo produz desagregação dos flocos do lodo, elevado nível de solubilização, lise celular e liberação de água intracelular. Para redução de lodo por tratamento térmico, o lodo é aquecido por vapor e/ou por trocadores de calor antes de entrar em um reator de contato; onde ocorre a lise celular e sem seguida recirculado ao sistema de lodos ativados (FOLADORI et al., 2010).

Métodos químicos ou termoquímicos e oxidação com ozônio

Tratamentos químicos ou termoquímicos têm por base o uso de reagentes ácidos ou alcalinos. A quebra da célula ocorre com aumento de temperatura associado a uma intensa mudança de pH, promovendo o processo de lise celular-crescimento críptico. Em comparação com o tratamento térmico simples, o tratamento termoquímico tem uma eficiência mais elevada na solubilização de lodo quando aplicado à mesma temperatura, porém dando custos adicionais para os reagentes. Reagentes alcalinos, tais como **NaOH**, são considerados mais eficientes que os ácidos (**HCl** ou **H₂SO₄**) e o **NaOH** é efetivamente o reagente mais usado.

Os processos oxidativos avançados consistem em uso de ozônio, peróxido de hidróxido ou cloro e a combinação de vários oxidantes. Estes tratamentos oxidativos combinados com a degradação biológica tem se demonstrado muito eficientes na redução do lodo, porém, geralmente, a principal limitação é sua viabilidade econômica. O tratamento a base de **ozônio** para redução de lodo causa desintegração do floco, lise celular, solubilização da matéria orgânica, e em menor medida, uma subsequente oxidação parcial dos produtos orgânicos solubilizados. Esta tecnologia pode ser aplicada a uma parte do lodo retorno ou diretamente ao lodo retirado dos tanques de lodos ativados, sendo o lodo ozonizado, em seguida, recirculado ao tanque de lodos ativados. A eficiência da ozonização pode depender da reação do ozônio com constituintes do lodo e de fatores como: qualidade do esgoto ou do lodo; configuração do reator de ozônio; vazão e concentração de ozônio na fase gasosa; vazão e concentração de sólidos do lodo tratado; eficiência de transferência de ozônio no reator de ozonização; tempo de contato entre o ozônio e o lodo no reator de ozonização; dosagem do ozônio: este é o parâmetro mais importante e é expresso como massa de ozônio aplicada por massa de SST tratada ou por massa de SST removida, ou outras definições. A dosagem recomendada de ozônio é de 0,03-0,05 g O₃/gSST produzido, que é apropriada para atingir um equilíbrio entre eficiência de redução de lodo e custo. Resultados viáveis para ETEs de grande capacidade, ou onde os custos de disposição de

lodos são muito altos, ou para resolver problemas de formação de espuma e bulking (adaptado de FOLADORI ET al., 2010):

Métodos biológicos/enzimáticos

O tratamento enzimático do lodo baseia-se nos mecanismos de solubilização, lise celular e crescimento críptico, com adição de enzimas. Este tratamento pode ser utilizado em combinação com desintegração mecânica. Muitas das enzimas comerciais são patenteadas e sua exata composição é geralmente confidencial. Cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} ou Fe^{3+} desempenham importante papel no tratamento do lodo. A remoção destes cátions por meio agentes de ligação com cátion leva à ruptura dos flocos e solubilização dos sólidos, resultando no aumento da área superficial específica (superfície específica) para hidrólise enzimática. Até o momento as dosagens indicadas para estes agentes são muito altas e ainda não recomendadas para aplicações práticas em escala natural/industrial. O único custo investimento desta técnica é a instalação de um sistema para dosagem de enzimas. Resultados promissores na redução da produção de lodo estão relacionados, frequentemente, a altas dosagens de enzimas e a viabilidade em escala natural ainda não foi completamente investigada (adaptado de FOLADORI ET al., 2010).

Comparação entre princípios/tecnologias

Todos os métodos de lise discutidos constituem pré-tratamentos antes de um processo de degradação biológica com o objetivo de liberar componentes celulares e outros materiais orgânicos pela desintegração dos sólidos do lodo, resultando na melhoria da velocidade e do grau de degradação. Na comparação do desempenho de várias técnicas de desintegração mecânica, assim como da eficiência do tratamento e consumo de energia, outros fatores devem ser considerados para escolha da tecnologia mais adequada, tais como: custo do investimento; disponibilidade da tecnologia para aplicação em escala natural; problemas operacionais tais como entupimento/obstrução dos equipamentos; desgaste dos componentes dos equipamentos. Com relação aos homogeneizadores de alta pressão, estes vêm sendo aplicados em escala natural na Alemanha desde 2003, como pré-tratamento antes da digestão anaeróbia mesofílica. Estes sistemas têm sido usados a pressões moderadas para tratar tanto lodo adensados como não adensados e lodos primários e secundários com o objetivo de aumentar a produção de biogás (adaptado de FOLADORI ET al., 2010).

Tabela 1 - Resumo com vantagens e desvantagens de algumas tecnologias de lise celular.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Ultrassom	Processo aplicado em escala natural Sistema compacto de fácil gestão Pequeno tempo de contato Redução de microrganismos filamentosos Melhoria da sedimentabilidade do lodo Não produz odor	Erosão dos sonotrodes Substituição periódica dos sonotrodes Elevado consumo de energia Piora na sedimentabilidade do lodo (a elevada energia)
Tratamento Térmico	Melhoria da sedimentabilidade do lodo Inativação de patógenos Redução de microrganismos filamentosos	Raramente aplicado em escala natural Consumo de energia para aquecimento Problemas de corrosão Formação de odor Viável economicamente para lodo com alta concentração de sólidos
Oxidação com Ozônio	Processo aplicado em escala natural Elevada redução do lodo, apenas limitada por fatores econômicos	Elevados custos de investimento Elevados custos operacionais para produção de ozônio e oxigênio puro Pequeno aumento da DQO solúvel e do

	Melhoria da sedimentabilidade do lodo Redução de microrganismos filamentosos (bulking e intumescimento do lodo)	fósforo (P) no efluente Inevitável consumo de ozônio em excesso quando estão presentes compostos solúveis
Cloração	Baixo custo do cloro comparado a outros oxidantes Equipamento de menor custo se comparado à ozonização Operação mais simples se comparado à ozonização	Formação de subprodutos (trialometanos), descartados no efluente Aumento de DQO solúvel do efluente Piora na sedimentabilidade do lodo Limitada a aplicações em escala de laboratório
Peroxidação	Não produz subprodutos se comparado à cloração Equipamento de menor custo se comparado à ozonização Operação mais simples se comparado à ozonização	Elevado custo do peróxido de hidrogênio, em comparação ao cloro Necessidade de aquecimento para melhoria da eficiência Aumento da DQO solúvel do efluente Aplicações em escala de laboratório
Tratamento Elétrico	Sistema Compacto Curto tempo de contato Redução de microrganismos filamentosos Sem produção de odor	Erosão dos eletrodos Elevado consumo de energia Processo ainda não totalmente investigado
Hidrólise enzimática com aplicação de enzimas	Fácil de aplicar, sendo necessária apenas a aplicação de uma dosagem da solução de enzimas Melhoria da sedimentabilidade do lodo Custo de investimento muito baixo	Custos operacionais com solução de enzima Escala de laboratório e a elevadas dosagens Composição dos produtos é confidencial As condições ótimas para escala natural ainda não foram completamente investigadas

Prospecção tecnológica em base de dados de periódicos e de patentes

A elaboração de exercícios prospectivos segue um fluxo operacional que compreende as seguintes etapas (ZACKIEWICZ, 2010):

- Formulação do problema, no qual é definido tema, objeto, objetivo;
- Obtenção da informação, que compreende: busca preparação e avaliação da consistência dos dados;
- Seleção do(s) método(s);
- Aplicação do(s) método(s), se manual ou uso de softwares;
- Avaliação do resultado, verificando se está consistente, se é útil.

A prospecção de informação tecnológica para o tema **desintegração de lodo ou lise celular** foi realizada a partir de duas fontes: artigos técnicos e científicos e patentes. A pesquisa de informações em artigos técnicos foi efetuada na base de dados - *Web of Science*, que pode ser acessada pelo Portal de Periódicos da Capes (endereço eletrônico www.periodicos.capes.gov.br). Para avaliação da produção tecnológica, contida em patentes, foi utilizada a base de dados americana (United States Patent and Trademark Office - USPTO), que pode ser acessada pela ferramenta Elabmapper, desenvolvida pela Empresa Elabora.

No caso de estudos de documentos de patentes, cabe ressaltar que a informação contida nos documentos de patentes somente fica disponível para consulta após o período de sigilo, que é de 18 meses a contar da data de depósito em escritório de patentes. Além disto, o documento de patente pode ser classificado como pedido de patente, que é o documento depositado, independente de ter sido concedido ou não e como patente concedida, que é o documento final, após o processamento do pedido. Diferentemente dos artigos técnicos, a tecnologia ou tecnologias a serem patenteadas são classificadas, de acordo com os códigos estabelecidos na Classificação Internacional de Patentes (IPC), que

são adotados por todos os escritórios de patentes, o que de certa forma auxilia na classificação da tecnologia.

Para busca das tecnologias mais estudadas contidas em artigos técnicos e documentos de patentes é necessária a construção de uma expressão de busca.

Para a avaliação da produção técnico-científica publicada em periódicos considerou uma expressão de busca contendo, por exemplo, as palavras-chaves que melhor caracterizam o tema a ser pesquisado e definiu onde estas palavras deveriam ser pesquisadas, ou seja, só, no título e/ou no tópico, que compreende além do título, o resumo e as palavras-chave. Além disto, definiu-se, a princípio, como período de abrangência da pesquisa todo o período de publicações disponíveis no banco de dados *Web of Science*, de 19 anos (1994 a 2012) de pesquisa para este tema, de forma a analisar sua evolução ao longo dos anos.

Assim, para busca em artigos técnicos foi construída a seguinte expressão:

TS= ((*lysis or *disintegrat** or *desintegrat** or *rupt** or *shear** or *lysa**) near/2 (*sludge* or *cell** or *biomas**)) AND TS= (*sludge*)**

De acordo com esta expressão, a busca foi realizada no tópico e foi estabelecido que as palavras *lysis** ou *disintegrat** ou *desintegrat** ou *rupt** ou *shear** ou *lysa** deveriam estar a uma distância máxima de duas palavras de *sludge* ou *cell** ou *biomas** e, além disto, a palavra *sludge* deveria aparecer em todas as buscas, pois o objetivo maior é a desintegração, lise, ruptura, quebra de células de lodo.

Já para avaliação da produção tecnológica contida em documentos de patentes foram realizadas buscas no escritório de patentes americano, USPTO Da mesma forma como no caso dos artigos técnicos, não foi fixado um período específico de tempo, fazendo-se a pesquisa do tema em todo período disponível na base de dados de 1976-2012, de forma a analisar sua evolução da produção tecnológica no tema da pesquisa ao longo dos anos, foi construída a seguinte expressão:

Resumo contemfts '*sludge*' && resumo contemfts '(*disintegration* | *lysis* | *ruption* | *shearl break*)' && desccontemfts '(*disintegration* | *lysis* | *ruption* | *shearl break*) near/3 (*sludgel cell* | *microbial*)'&& rvcontemfts '(*disintegration* | *lysis* | *ruption* | *shearl break*)'

De acordo com esta expressão, as palavras-chave foram pesquisadas no resumo, nas reivindicações e no texto inteiro. O critério de busca estabeleceu que no resumo e nas reivindicações devessem aparecer umas das palavras-chave listadas a seguir: *disintegration* ou *lysis* ou *ruption* ou *shear* ou *break* e também, dentro do texto, as palavras *disintegration* ou *lysis* ou *ruption* ou *shear* ou *break* deveriam estar a uma distância máxima de três palavras de *sludge* ou *cell* ou *microbial*.

Para análise dos resultados de busca foram estabelecidos os seguintes critérios para interpretação e discussão dos resultados:

- Análise abrangente da evolução da produção técnico-científica e tecnológica ao longo dos anos de 1994 a 2012 para o tema, apresentando gráficos de:
 - Evolução da produção técnico-científica publicada em periódicos;
 - Evolução do depósito de patentes no Escritório Americano;
 - Tecnologias que mais se destacaram nos artigos técnicos;
 - Tecnologias que mais se destacaram no escritório americano USPTO;
- Análises específicas com base em artigos técnicos sobre o tema no período de 2008 a 2012:
 - Crescimento da produção técnico científica
 - Identificação dos países com maior produção científica;
 - Tecnologias que mais se destacaram no período;
 - Autores que mais publicaram no período;
 - Instituições que se destacaram no estudo do tema;
 - Áreas do conhecimento nas quais o tema é abordado;
 - Tipo de periódicos que mais publicam artigos sobre o tema.
- Análises específicas com base em documentos de patentes sobre o tema no período de 2005 a 2011:
 - Países depositantes;
 - Empresas depositantes;
 - Tecnologias;

- Classificação de patentes.
- Análises específicas com base em documentos de patentes:

Para classificação das tecnologias, foram consideradas, dentre outras, as seguintes tecnologias para mapeamento das informações tecnológicas pesquisadas nos banco de dados especificados:

- Vibração/trituração/rotação ou tratamentos mecânicos em geral;
- Esferas de trituração agitadas;
- Homogeneizador de alta pressão;
- Ultrassom e seus aperfeiçoamentos como cavitação hidrodinâmica
- Energia pulsada- campo elétrico.
- Centrífuga de lise e adensamento.
- Ácido/Alcalino utilizando reagentes alcalinos (NaOH) e/ou ácidos (HCl ou H₂SO₄).
- Ozônio e outros oxidantes como peróxido de hidróxido, cloro, dióxido de cloro, fenton;
- Métodos biológicos com enzimas/enzimáticos.
- Híbridos: alcalino-térmico, alcalino-ultrassom, termo-oxidativos, alcalino-microondas, ultrassom-ozônio;
- Térmicos e seus aperfeiçoamentos como micro-ondas e hidrólise sob alta temperatura.

RESULTADOS

Análises da evolução da produção técnico-científica e tecnológica ao longo dos anos

Com base nos critérios estabelecidos, anteriormente, são apresentados a seguir os resultados das buscas em artigos e documentos de patentes. Nesta análise serão considerados todos os estudos relativos ao tema que foram recuperados nos banco de dados acessados, sem definir um período específico, de modo a observar a evolução técnico-científica e tecnológica deste tema ao longo dos anos.

Com base na expressão apresentada, anteriormente, foram obtidos na busca um total de 450 artigos técnicos. Após análise das informações contidas no título, palavras-chaves e resumo dos 450 artigos, concluiu-se que 314 artigos tratavam do tema da busca, ou seja, 70% dos artigos obtidos com a expressão utilizada na busca abordavam técnicas de desintegração de lodo ou lise celular e estes dados foram analisados, conforme ilustrado no Gráfico 1.

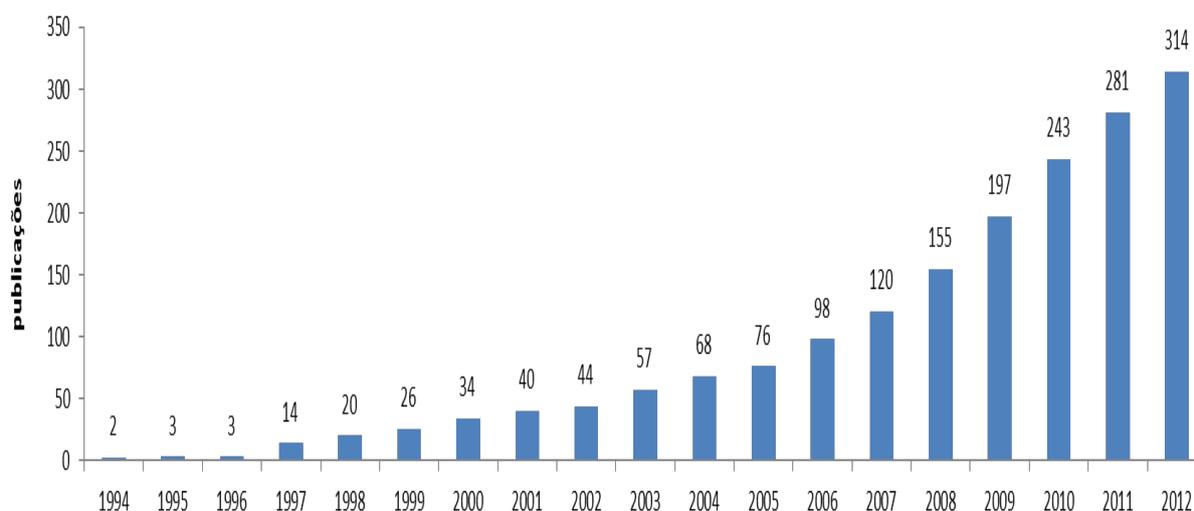


Gráfico 1- Evolução da produção técnico-científica publicada em periódicos do tema lise celular de 1994 a 2012.

Da mesma forma, foi efetuada a busca de patentes utilizando-se a expressão apresentada anteriormente. Na busca foram obtidos 69 documentos de patentes. Estes documentos foram analisados e identificados 38 patentes sobre o tema, conforme Gráfico 2 com evolução de patentes sobre o tema, ao longo dos anos. Observa-se que não há informações

no ano de 2012 para patentes, pois uma patente depositada em início de 2012, a princípio só aparece na pesquisa após 18 meses de sigilo. Pela análise dos gráficos de evolução da produção científica em periódicos e a produção tecnológica em patentes do escritório USPTO, observa-se que em 1997, a produção era semelhante, com valores de 14 e 12, respectivamente. Nos 10 anos seguintes, o número de artigos técnicos sobre o tema passou de 14 para 98, com crescimento de 600% e o número de patentes passou de 12 para 31, com crescimento de 163 %. Esta diferença é motivada por diversas razões como: para depósito de patente é necessário que o documento tenha atividade inventiva e não exista outro igual, já para um artigo, pode-se, por exemplo, desenvolver vários estudos com uma mesma tecnologia, testando diferentes aspectos, além disto, a base considerada para busca de artigos engloba periódicos selecionados do mundo interior, enquanto, a base de patentes utilizada está restrita ao escritório americano, que é uma referência, pois se considera que cobre as patentes que têm grande potencial de mercado.

A análise seguinte foi identificar a tecnologia que estava sendo abordada em cada artigo técnico e documento de patente, tendo por referência, os conceitos e classificações apresentados no item 1. Nos gráficos 3 e 4 são apresentadas as tecnologias que mais se destacaram nos documentos de artigos e de patentes, respectivamente.

Observa-se que em ambos os casos, os métodos mecânicos e/ou físicos predominam sobre outros mecanismos, com destaque para a tecnologia de ultrassom, seguida de outras tecnologias como homogeneizadores de alta pressão, desintegradores por trituração. No caso de artigos técnicos, a segunda tecnologia que se destaca é o uso de ozônio para lise celular e no caso de patentes, os métodos híbridos, que consideram a combinação de tecnologias.

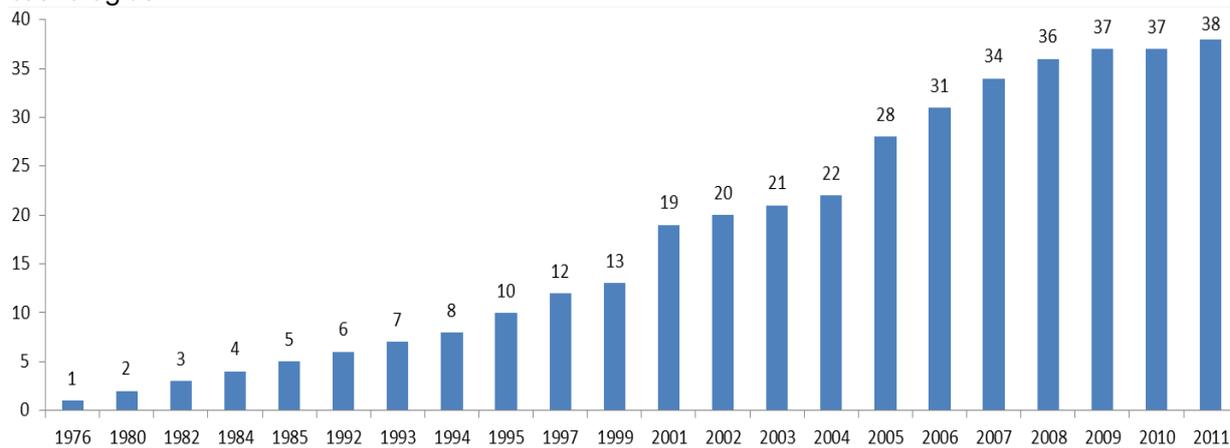


Gráfico 2- Evolução do depósito de patentes do tema lise celular de 1976 a 2012, no Escritório Americano.

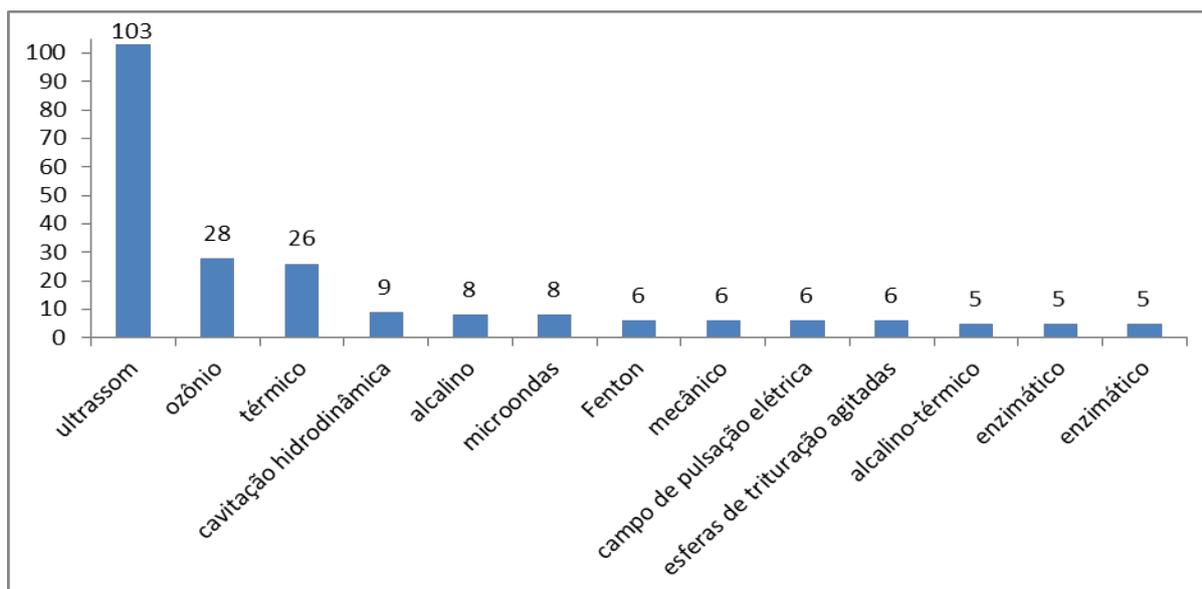


Gráfico 3-Tecnologias que mais se destacaram ao longo dos anos de 1994-2012 nos artigos técnicos.

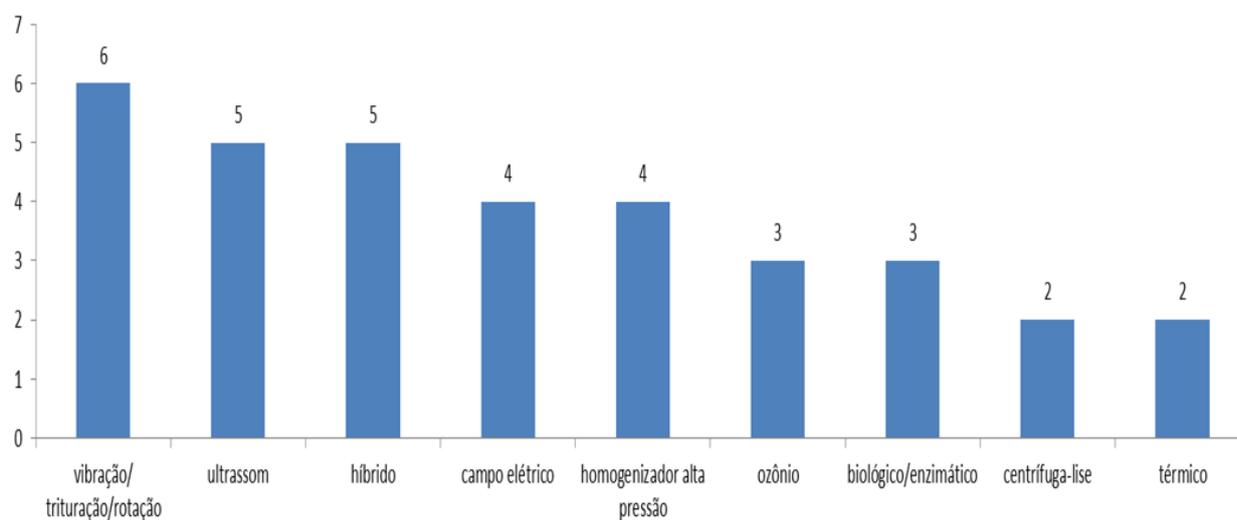


Gráfico 4-Tecnologias que mais se destacaram ao longo dos anos de 1976-2012 no escritório americano USPTO.

Análises específicas com base em artigos técnicos

Dos 314 artigos que tratam do tema, 194 artigos foram publicados nos últimos cinco anos (2008-2012), representando 62% da produção científica desenvolvida nos últimos cinco anos, o que revela que o é tema atual e está em franco desenvolvimento. Portanto, para análise mais específica dos artigos, foi considerado este intervalo de tempo.

Serão apresentados gráficos para ilustrar os seguintes indicadores para o período de 2008-2012:

- Crescimento da produção técnico científica, representada por gráfico cumulativo do número de artigos para o período;
- Número de artigos sobre o tema, com identificação dos países com maior produção científica;
- Tecnologias que mais se destacaram no período;
- Autores que mais publicaram no período;
- Instituições que se destacaram no estudo do tema;
- Áreas do conhecimento nas quais o tema é abordado;
- Tipo de periódicos que mais publicam artigos sobre o tema.

A seguir são apresentados, respectivamente, os gráficos de evolução da produção científica no período, conforme Gráfico 5 e dos países com maior produção científica neste período, conforme Gráfico 6.

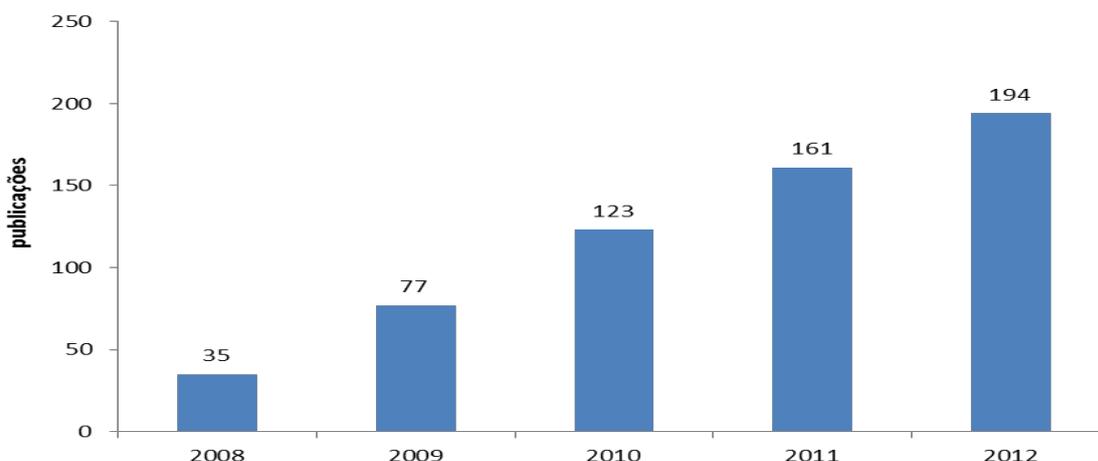


Gráfico 5- Evolução de artigos técnicos no período de 2008 a 2012.

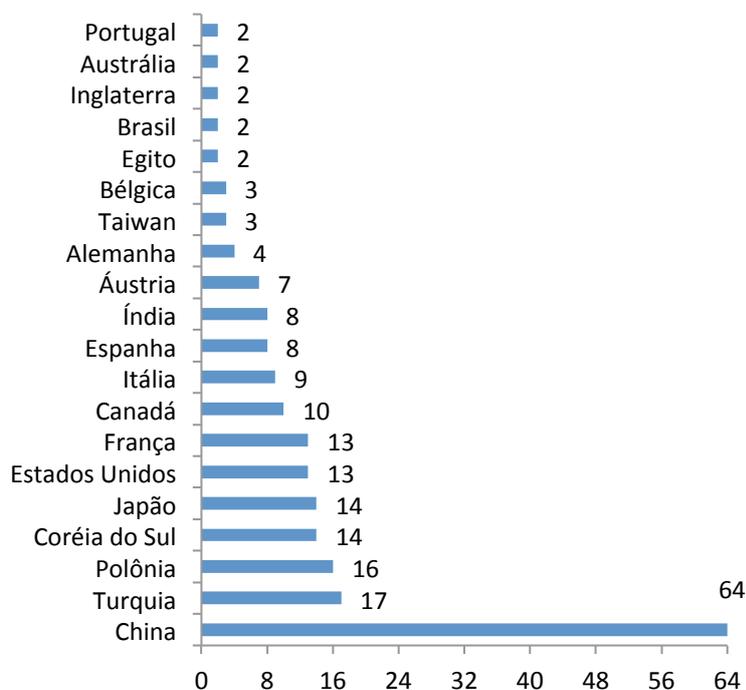


Gráfico 6- Países com maior produção científica no tema lise celular no período de 2008 a 2012.

A análise do gráfico 5 demonstra que o crescimento da produção técnico-científica dos últimos cinco foi superior a 400%, com produção média de 32 artigos por ano.

Neste mesmo período, conforme gráfico 6, o país com maior produção científica foi a China, com 33% do total de artigos, seguida por Turquia, Polônia, Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos e França, com 8,8%, 8,2%, 7,2%, 7,2%, 6,7% e 6,7%, respectivamente. Estes sete países em conjunto são responsáveis por 78% da produção científica sobre o tema.

Com relação às tecnologias mais pesquisadas no período, da mesma forma como observado anteriormente, para o período de 1994-2012, a tecnologia de ultrassom foi a mais estudada no período de 2008-2012, representando 39%, da produção científica. Em segundo lugar, destaca-se a tecnologia de utiliza ozônio para desintegração, com 13,7% da produção científica, seguida por métodos térmicos, com 10,3%.

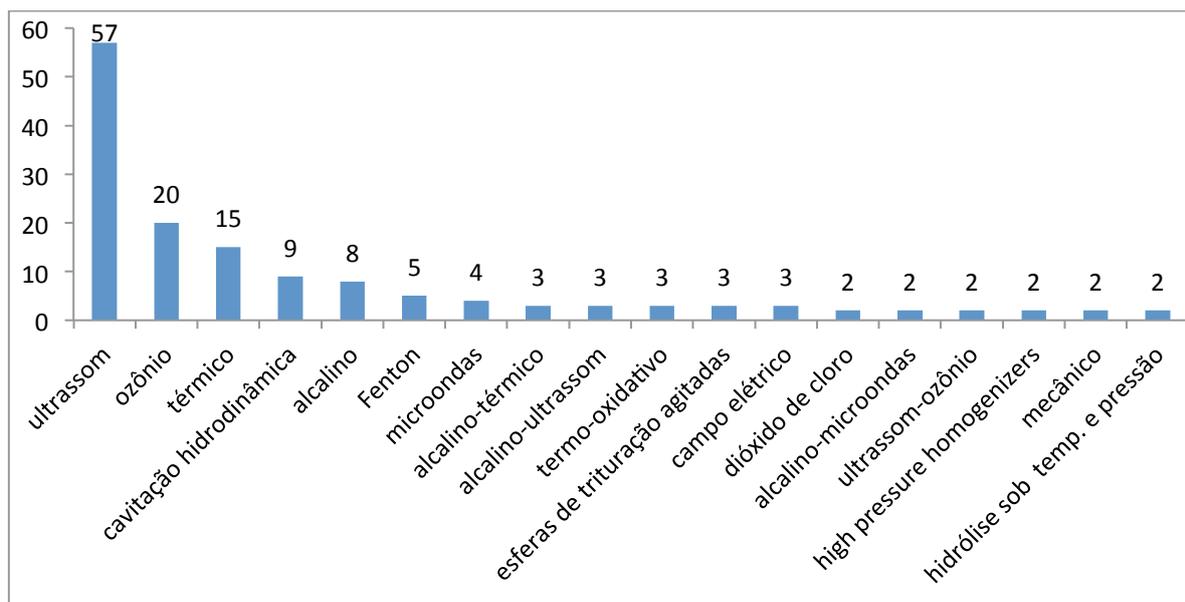


Gráfico 7- Tecnologias de lise celular pesquisadas no período de 2008 a 2012.

Uma vez conhecidos os países e tecnologias que destacadas no período, o próximo passo foi a identificação dos autores que mais publicaram, conforme Gráfico 8 e de suas respectivas instituições, conforme Gráfico 9, além de identificar também a tecnologia estudada por estes pesquisadores.

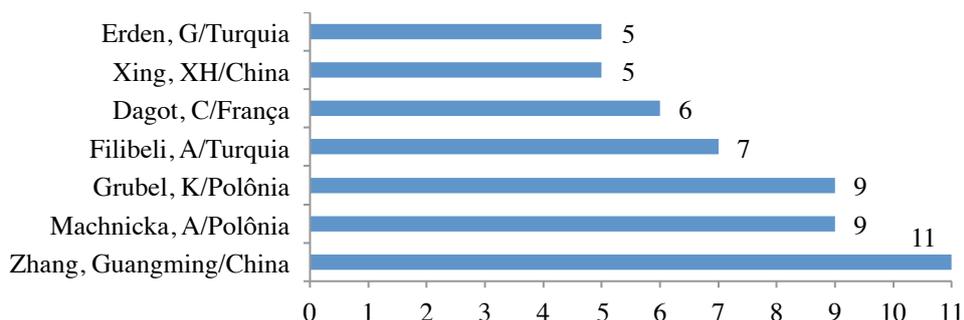


Gráfico 8 - Autores que mais publicaram sobre o tema entre 2008 e 2012

Os pesquisadores com maior número de artigos publicados são da China, Polônia, Turquia e França. O pesquisador chinês Zhang teve o maior número de publicações no tema, pesquisando principalmente a aplicação da tecnologia de ultrassom na desintegração do lodo e também a aplicação de homogenizador de alta pressão. Os pesquisadores Machnicka e Grubel da Polônia estudaram a tecnologia de cavitação hidrodinâmica, que é uma variante da tecnologia e ultrassom. O pesquisador Filibeli dedicou-se ao estudo da aplicação de métodos de oxidação, com emprego de ozônio e Fenton o pesquisador francês Dagot, ao estudo de ultrassom e processos térmicos.

Com relação às instituições destacam-se o Instituto de Tecnologia Harbin, da China e a Universidade Bielsko Biala, da Polônia.

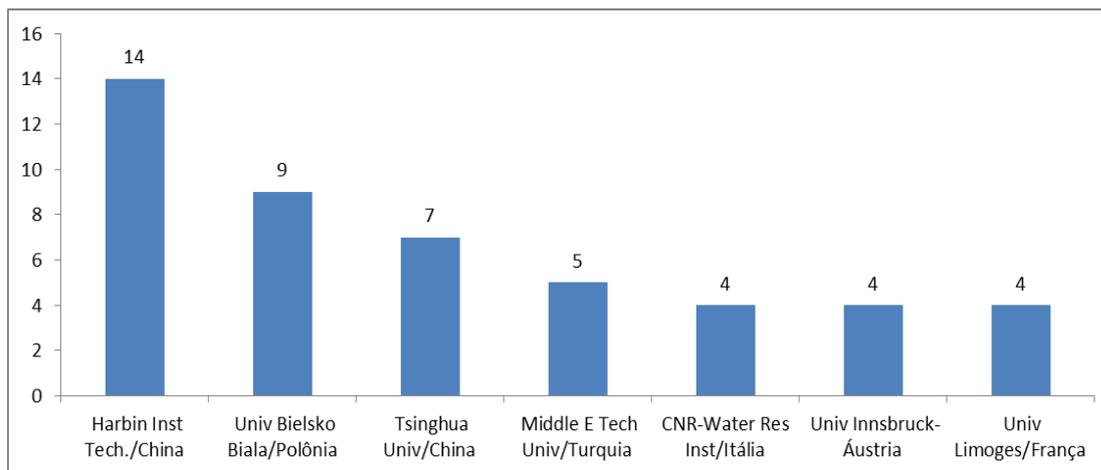


Gráfico 9 - Instituições que mais publicaram artigos sobre tema “lise celular” entre 2008 e 2012.

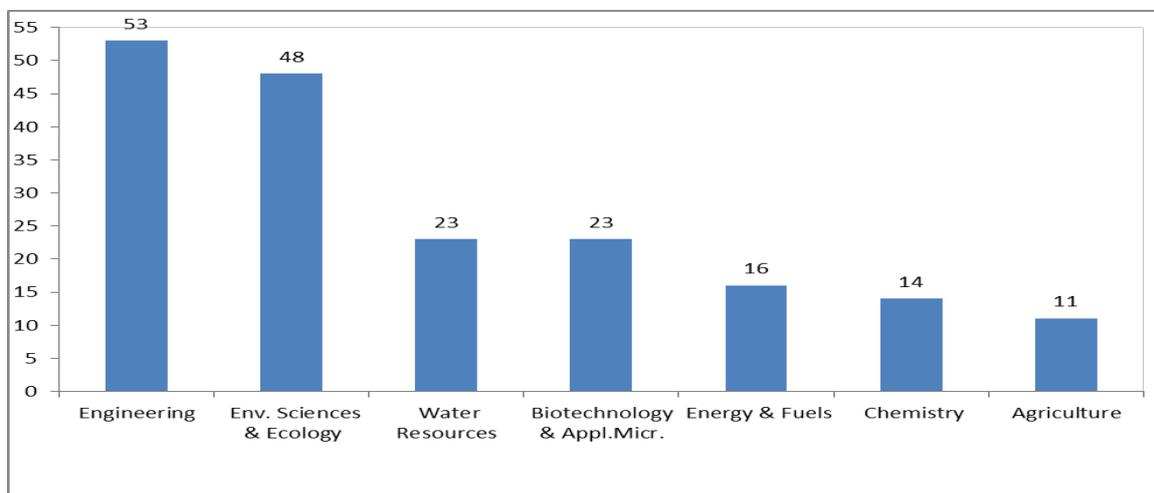


Gráfico 10 - Áreas do conhecimento que mais estudaram o tema lise celular de 2008 a 2012.

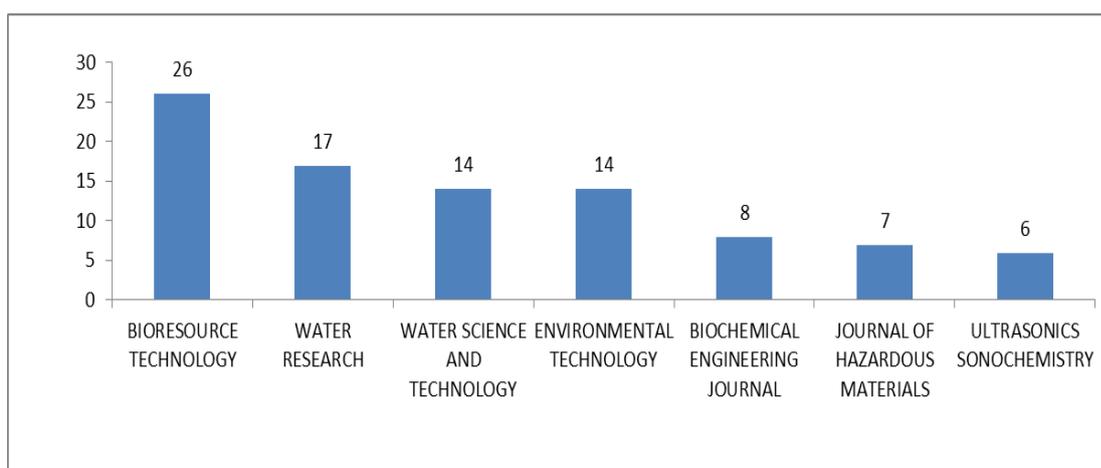


Gráfico 11 - Áreas do conhecimento que mais estudaram o tema lise celular de 2008 a 2012.

Pela interpretação do Gráfico10, constata-se que as áreas de conhecimento de engenharia, ciências do ambiente, recursos hídricos e biotecnologia, abordam o tema lise celular, com maior destaque para as duas primeiras áreas. Com relação às revistas que mais publicam artigos sobre o tema, conforme Gráfico 11, as três revistas que se destacam são revistas

que tratam de temas da área de saneamento, sendo usualmente as revistas que mais publicam outros temas de tratamento de esgotos. Dentre estas revistas, Water Research e Water Science Technology são as mais difundidas no nosso meio.

Análises específicas com base em documentos de patentes

Em função do baixo número de documentos de patentes obtidos para os últimos cinco anos, optou-se por considerar um período maior, de sete anos, e assim as análises foram conduzidas com base nos documentos e patentes depositados entre 2005 e 2011, conforme gráfico de evolução do depósito de documentos de patentes, apresentado a seguir.

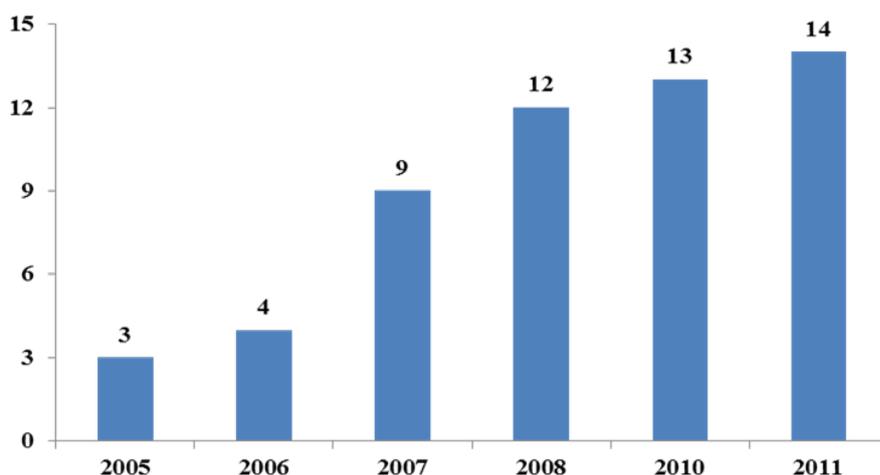


Gráfico 12- Evolução do depósito de patentes no Escritório Americano USPTO de 2005 a 2011.

Observa-se maior crescimento, entre 2006 e 2007, seguido de crescimento menor de 2007 a 2008. Esta observação parece confirmar as informações do Relatório de EPA de 2008, que listava as principais tecnologias conhecidas atualmente na época sobre o tema. Pelo menos em termos de mercado americano, não houve grandes avanços a partir de em tecnologias de lise celular a partir de 2008.

Na análise das tecnologias, optou-se por comparar a evolução tecnológica ao longo dos anos, de 1976 a 2011, com o período de 2005-2011, conforme Gráfico 13 e 14, respectivamente.

Em seguida, com base nas tecnologias identificadas nos documentos de patentes, são apresentadas no Gráfico 15, a seguir, as classificações destas tecnologias de acordo com os códigos da Classificação Internacional de Patentes- IPC.

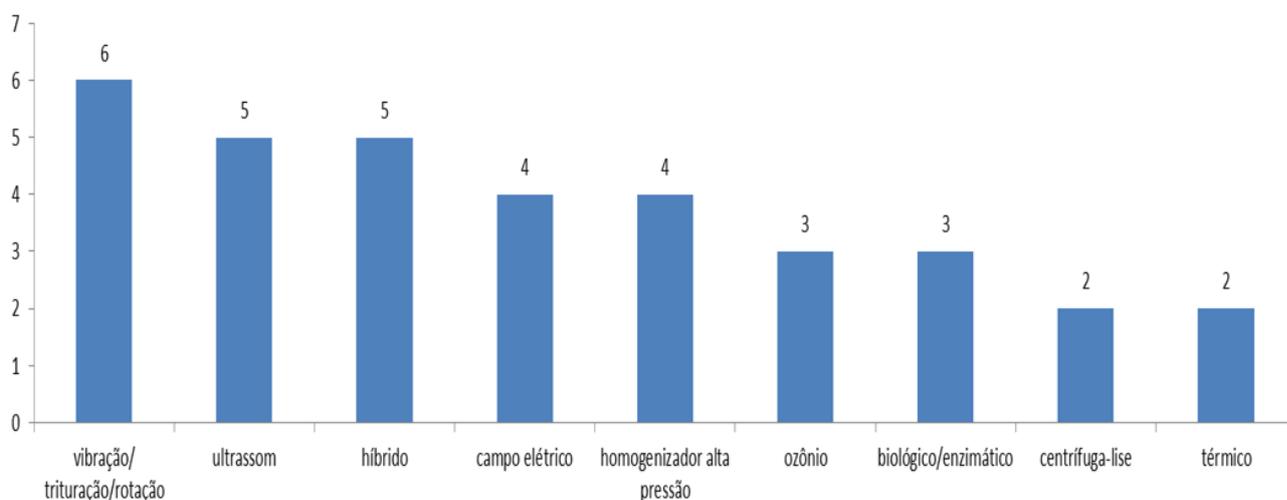


Gráfico 13- Evolução do depósito de patentes no Escritório Americano USPTO de 1976 a 2011.

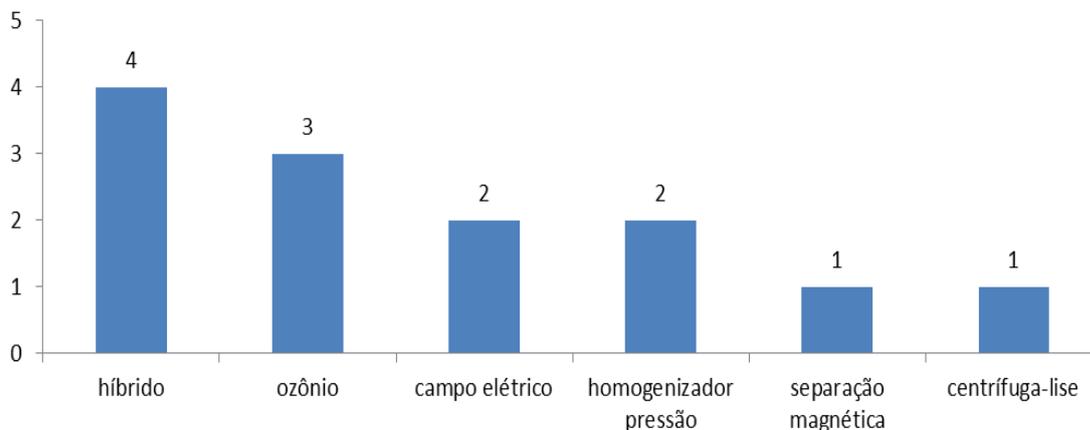


Gráfico 14- Evolução do depósito de patentes no Escritório Americano USPTO de 2005 a 2011.

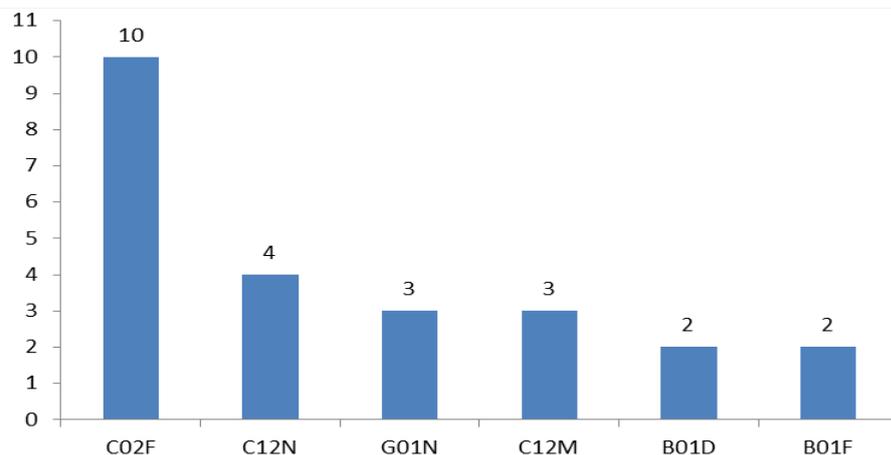


Gráfico 15- Evolução do depósito de patentes no Escritório Americano USPTO de 2005 a 2011.

Ao compararmos os gráficos 13 e 14, que cobrem respectivamente, um período superior a vinte anos com os resultados dos últimos sete anos, observa-se que os processos híbridos de lise celular são mais recentes, com 80% das patentes concentrada neste período. O mesmo observa-se para as patentes de processo químicos, utilizando o ozônio, com 100% das patentes nos últimos sete anos. Já para os métodos mecânicos/físicos, como campo elétrico e homogeneizador de alta, 50% das patentes se referem aos últimos sete anos e para a tecnologia de ultrassom não foram identificadas patentes, isoladamente, indicando apenas que não há interesse em explorar esta tecnologia no mercado americano. Observa-se também, que os processos mecânicos continuam se destacando, representados pelas tecnologias de campo elétrico, homogeneizador, separação magnética e centrífuga de lise. Em seguida aparecem métodos híbridos e químicos. Este último mecanismo representado principalmente pelo ozônio, que aparece como a tecnologia mais patenteada de lise celular no escritório americano.

Ao analisarmos o Gráfico 15, constata-se que o tema lise celular, está inserido no processo de tratamento de esgotos e lodos, cuja classificação predominante é o C02F, que engloba as tecnologias de Tratamento de água, esgotos e lodos. Além disto, outras classificações que se referem a enzimas, como C12N (Microrganismos e enzimas), G01N (Investigação ou análise de materiais envolvendo enzimas ou microrganismos) e C12M (Aparelhos para

enzimologia ou microbiologia), além de classificações referentes à separação de sólidos (B01D) e mistura (B01F).

Para concluir esta análise são apresentados os gráficos 16 e 17, com os países depositantes dos documentos de patentes e as principais empresas que depositaram patentes no período, respectivamente.

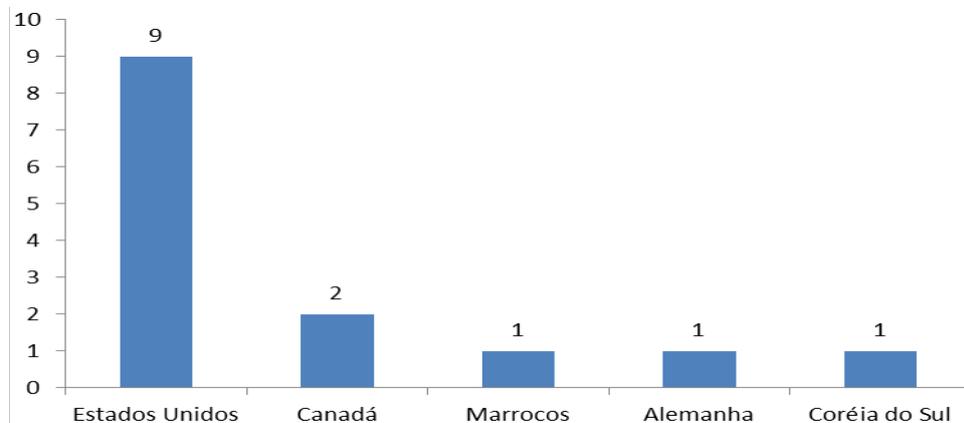


Gráfico 16- Países que depositaram documentos no Escritório Americano USPTO de 2005 a 2011.

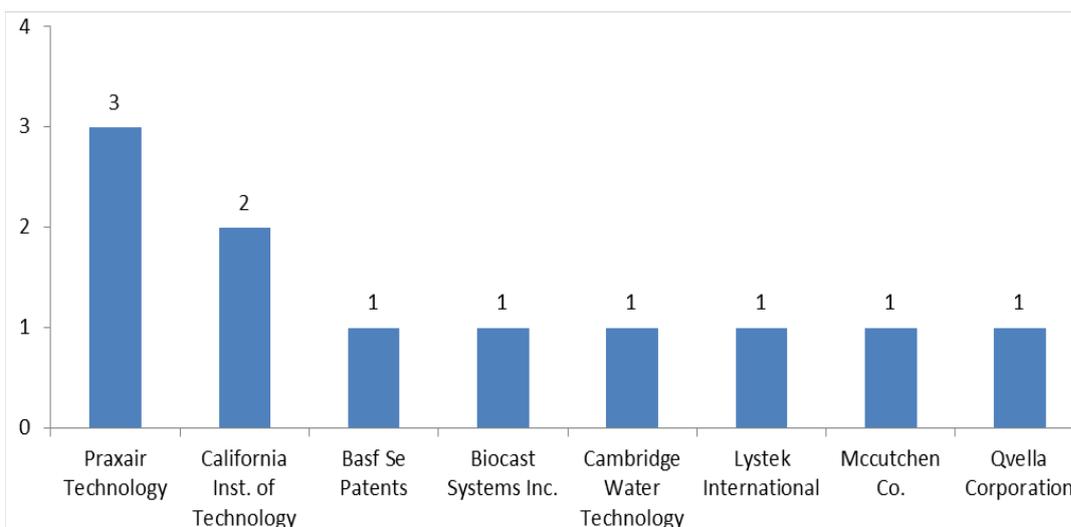


Gráfico 17- Principais empresas que depositaram patentes no Escritório Americano USPTO de 2005 a 2011.

Os Estados Unidos é o país com maior número de patentes depositadas, com cinco patentes de métodos mecânicos e três de métodos químicos, destacando-se a tecnologia de lise com emprego de ozônio e uma patente de métodos híbridos.

Com relação aos depositantes, a empresa americana *Praxair Technology* foi a empresa com maior número de patentes depositadas no período estudado, com três patentes do uso de ozônio para lise celular já concedidas, seguida pela *California Inst. of Technology*, sediada nos Estados Unidos, com duas patentes, uma da tecnologia de campo elétrico e outra de homogeneizador de alta pressão, ambas de métodos mecânicos, que ainda não foram concedidas.

CONCLUSÃO

Ao longo do estudo, com base na análise dos principais artigos e leitura dos resumos e interpretação de indicadores é possível fazer algumas considerações sobre o tema:

- Dentre as tecnologias mais pesquisadas de lise celular, em artigos técnicos destacam-se os métodos mecânicos, com especial destaque para tecnologia de ultrassom e seus aperfeiçoamentos, como cavitação acústica e hidrodinâmica. Em seguida, destacam-se os estudos dos métodos químicos, especialmente o uso de ozônio, mas também uso de álcalis e ácidos, Fenton e outros oxidantes. O terceiro método que vem sendo pesquisado é o térmico.
- Com relação à produção de artigos técnicos nos últimos de cinco anos, a China foi responsável por 33% da produção científica sobre o tema, seguida por Turquia, Polônia, Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos e França, com 8,8%, 8,2%, 7,2%, 7,2%, 6,7% e 6,7%, respectivamente. E estes sete países em conjunto foram responsáveis por 78% da produção científica sobre o tema.
- Os pesquisadores com maior número de artigos publicados são da China, Polônia, Turquia e França.
- Com relação às instituições destacam-se o Instituto de Tecnologia Harbin, da China e a Universidade Bielsko Biala, da Polônia.
- Com relação à área de conhecimento, é um tema que é abordado na engenharia, ciências do ambiente, recursos hídricos e biotecnologia. As três principais revistas que mais publicam sobre o tema são as revistas que usualmente publicam outros temas da área de tratamento de esgotos, sendo um tema que está inserido na área de saneamento.
- No caso de patentes, o universo foi bem inferior, pois ficou restrito a um de escritório de patentes. Mesmo assim, observou-se a mesma tendência dos artigos com destaque para os processos mecânicos, representados neste caso pelas tecnologias de campo elétrico, homogeneizador, separação magnética e centrífuga de lise. Em seguida destacam-se patentes dos métodos híbrido e químico, sendo este último representado pelo ozônio, que também se destaca como a tecnologia mais patenteada.
- O tema lise celular, está inserido no processo de tratamento de esgotos e lodos, representado pela classificação C02F, que engloba as tecnologias de Tratamento de água, esgotos e lodos.
- Como a tecnologia de ultrassom não apareceu de forma isolada, para o período definido na busca, foi realizada uma pesquisa complementar em banco de dados que reúne informações de vários escritórios e neste caso a tecnologia continua a ser a mais patenteada, porém fora dos Estados Unidos. Este aprofundamento será objeto de estudo posterior.
- No caso de patentes, os Estados Unidos é o maior depositante, com destaque para a empresa *Praxair Technology*, como maior depositante com a tecnologia de ozônio.
- A maioria dos trabalhos representam aperfeiçoamentos e estudos no sentido de viabilizar aplicação destas tecnologias, buscando encontrar um ponto de equilíbrio. Estas tecnologias continuam sendo implantadas especialmente nos casos onde não é possível a expansão do sistema de tratamento de esgotos e/ou de lodo e assim se torna mais econômico e/ou viável um sistema de desintegração de lodo, ou quando é vantajoso o aumento da produção de biogás, ou ainda para combater problemas de formação de espuma e lodo intumescido.
- De forma geral, nos trabalhos consultados, observa-se que a viabilidade econômica de algumas tecnologias, já vem sendo demonstrada em escala natural, especialmente quando integradas com digestão anaeróbia para melhoria da produção de biogás. No entanto, estas tecnologias são economicamente sustentáveis quando a disposição do lodo é particularmente cara ou quando o emprego de uma destas técnicas adiar a necessidade de ampliação do sistema de tratamento de esgotos ou de lodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, J. C. et al. "Investigation of aerobic and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria presence in a small full-scale wastewater treatment system comprised by UASB reactor and three polishing ponds". *Water Science & Technology*, vol. 61, n. 3, p. 737-745, 2010.

2. BIOCICLO - USO AGRÍCOLA. **Consórcio PCJ**, 2011. Disponível em: <http://www.agua.org.br/apresentacoes/59114_Agricola_2.pdf>
3. CAO, Y. S.; ANG, C. M. "Coupled UASB-activated sludge process for COD and nitrogen removals in municipal sewage treatment in warm climate". *Water Science & Technology*, vol. 60, n. 11, p. 2829-2839, 2010.
4. FEDRIZZI, F. **APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE CONCRETO - Tubo de Concreto de Seção Circular**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
5. MÜLLER, J. (2000a) Pre-treatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge. *Water Science and Technology*, 42(9), 167-174.
6. PAOLA FOLADORI, GIANNI ANDREOTTOLA, GIULIANO ZIGLIO, *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants*, IWA Publishing: 2010, ISBN: 9781843392781
7. PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA, J.F.; PICKLER, A.C.; LEAL, E.R.M.; MILHOMEN, C.C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto - uma revisão**. Novo Hamburgo: Revista Liberato, v. 11, 2010
8. SALLES-FILHO, S. L. M. & ZACKIEWICZ, M. "Prioridades de Pesquisa para Suínos e Aves". *Revista TeC Carnes*, v.3, n.1, p.1-6, 2001.
9. ZACKIEWICZ, M. Apontamentos de aula, 2010.