

# BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS LIGNINOCELULÓSICOS POR FUNGOS CAUSADORES DA PODRIDÃO BRANCA: UMA ALTERNATIVA À PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Cláudia Braga Pereira Bento<sup>1</sup>  
Kérley Braga Pereira Bento Casaril<sup>22</sup>

**RESUMO:** O aumento da população mundial e, conseqüentemente, a crescente demanda por alimentos e bens de consumo, para suprir esse contingente populacional, gera uma quantidade enorme de resíduos agroindustriais lignocelulósicos. O Brasil produz milhões de toneladas desses resíduos, por ano, durante o processo de beneficiamento ou processamento de alimentos. A composição química das plantas é consideravelmente diferente e influenciada por fatores genéticos e ambientais, mas celulose, hemicelulose e lignina são os principais constituintes dos materiais lignocelulósicos. A hidrólise eficiente dos constituintes da parede celular das plantas requer micro-organismos capazes de produzir diferentes enzimas que agem sinergisticamente. Os fungos que causam a podridão branca e produzem corpos de frutificação, popularmente conhecidos como cogumelos, são altamente decompositores de substratos lignocelulósicos por produzirem enzimas hidrolíticas e oxidativas. Nos últimos anos, a produção e o consumo de cogumelos comestíveis aumentaram e ganharam destaque em razão do reconhecimento de que de estes são nutritivos e possuem propriedades benéficas à saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança alimentar, produção de alimentos, resíduos agroindustriais lignocelulósicos, fungos da podridão branca, cogumelos.

BIOCONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES BY  
WHITE-ROT FUNGI: AN ALTERNATIVE TO FOOD PRODUCTION

**ABSTRACT:** The increasing world population and, consequently, the growing demand for food and consumer goods to supply this population contingent generate an enormous amount of lignocellulosic agro-industrial residues. The Brazil produces millions of tons of these residues per year, during the process of beneficiation or food processing. The chemical composition of plants is

<sup>1</sup> Pós-Doutoranda em Microbiologia Agrícola pela UFV – Viçosa/MG - [cbpbento@gmail.com](mailto:cbpbento@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente do Colegiado de Economia Doméstica da UNIOESTE – Francisco Beltrão – PR - Líder do GEPSA – [kcasaril@gmail.com](mailto:kcasaril@gmail.com)

considerably different and influenced by genetic and environmental factors, but cellulose, hemicellulose and lignin are the main constituents of lignocellulosic materials. The efficient hydrolysis of the constituents of plant cell walls requires microorganisms capable of producing different enzymes that act synergistically. The fungi that cause white rot and produce fruiting bodies, popularly known as mushrooms, are highly decomposers of lignocellulosic substrates by producing oxidative and hydrolytic enzymes. In recent years, the production and consumption of edible mushrooms grew and gained prominence due to the recognition that these, in addition to being nutritious, have beneficial health properties

**KEYWORDS:** Food security, food production, lignocellulosic agro-industrial residues, white-rot fungi, mushrooms.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de fungos para a conversão de resíduos agroindustriais ligninocelulósicos em alimentos oferece uma alternativa para o desenvolvimento de fontes não convencionais de alimentos tanto para os humanos como para os animais. O aumento da população mundial demanda cada vez mais alimentos e bens de consumo, com consequente aumento na produção de resíduos agroindustriais oriundos de madeiras, usinas de álcool combustível e indústrias de beneficiamento de produtos agrícolas, a exemplo de café, algodão, cana-de-açúcar, coco, cereais, entre outros.

No Brasil são produzidas, anualmente, quantidades consideráveis de resíduos resultantes do beneficiamento ou processamento de alimentos. A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado da agroindústria a tomar medidas preventivas que reduzam a quantidade de resíduos gerados, e incentivem o uso desses resíduos na alimentação animal, na adubação ou no abastecimento de caldeiras para produção de energia, entre outros. Os resíduos agroindustriais, depois de gerados, necessitam de destinos adequados, pois, além de gerar potenciais problemas ambientais, representam perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em sistemas de tratamentos para controlar a poluição causada pelos resíduos.

Os órgãos governamentais, as indústrias e a sociedade almejam políticas ambientais que diminuam os impactos negativos dos resíduos à natureza. Os órgãos fiscalizadores brasileiros têm se mobilizado e constantes revisões têm ocorrido em resoluções ligadas a tratamentos de resíduos. As leis de Gestão Ambiental e certificação da ISO 14000 visam o desenvolvimento de atividades (manejo, separação, identificação, acondicionamentos, coleta, transporte, armazenamento e tratamento) dos mais diversos segmentos (hospitais, domicílios, indústrias) sem transgredir as leis ambientais vigentes.

Uma alternativa para a utilização de grande parte destes resíduos é a utilização como substrato em processos microbiológicos aplicados, tais como a produção de cogumelos comestíveis. O cultivo e a utilização de cogumelos comestíveis vêm aumentando nas últimas décadas no Brasil, devido a fatores como o alto valor nutritivo, descobertas científicas que comprovam atividades medicinais e também pelo fácil cultivo, consistindo numa fonte de renda para pequenos e médios produtores.

A composição química de cogumelos comestíveis e suas funções têm sido objetivos de muitas pesquisas, uma vez que esses cogumelos são fontes dos mais diversos minerais em diferentes concentrações, responsáveis pelo funcionamento normal do organismo. A composição química dos cogumelos é diretamente influenciada pela composição química do substrato no qual o fungo foi cultivado, fator que permite o acúmulo de determinados macro e microminerais. Além disso, os cogumelos comestíveis constituem alimento com baixo valor calórico, elevado teor de proteína e com propriedades terapêuticas.

Compostos biologicamente ativos já foram isolados tanto dos cogumelos assim como do micélio e do filtrado de culturas desses fungos. Estes compostos apresentam os mais diversos efeitos, dentre os quais pode se citar sua ação antiviral, antifúngica, antibacteriana, hepatoprotetora e anticancerígena.

Cerca de duas mil espécies de cogumelos potencialmente comestíveis são conhecidas, porém, aproximadamente 35 delas são normalmente utilizadas na alimentação humana e um número ainda menor tem sido produzido comercialmente. Assim, o aproveitamento de resíduos

ligninocelulósicos oriundos da produção agrícola para produção de proteína alimentar na forma de biomassa fúngica é uma alternativa para agregar valor aos resíduos, considerando que a produção de cogumelos comestíveis é uma atividade comercial já bem estabelecida e rentável. São inúmeros os benefícios da conversão desses resíduos em cogumelos, como o fornecimento de alimentos, controle da geração de resíduos, redução de impactos ambientais, melhoria da renda familiar entre outras.

Mediante o exposto, o presente artigo tem como objetivo discutir o papel dos fungos causadores da podridão branca no processo de conversão de resíduos agroindustriais ligninocelulósicos, como uma alternativa para a produção de alimentos tanto para humanos como para os animais.

## 2. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Os materiais ligninocelulósicos são os mais abundantes resíduos agrícolas no mundo (SAFARI SINEGANI *et al.*, 2005). O Brasil tem sua economia baseada na produção agrícola (GRAMINHA *et al.*, 2007), e produziu em 2012 cerca de 180 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2012) gerando, por ano, cerca de  $1,06 \times 10^{10}$  toneladas de resíduos de composição ligninocelulósica (SÁNCHEZ, 2009; FERREIRA-LEITÃO *et al.* 2010). Estima-se que, em média, de 20% a 30% da safra de grãos, de frutas e de hortaliças colhidas no Brasil sejam desperdiçados no caminho entre a lavoura e o consumidor. No entanto, dados sobre os tipos e os volumes de resíduos gerados no agronegócio mundial sem valor agregado ainda são escassos (ROSA *et al.*, 2011).

As palhadas de cereais, subprodutos da colheita agrícola, contribuem para o aumento na quantidade de resíduos agrícolas (JALC *et al.*, 1999; PELIZER *et al.*, 2007). Grandes quantidades desses subprodutos da colheita agrícola se acumulam no decorrer dos anos, resultando não somente na deterioração no próprio ambiente, como também na perda de resíduos ricos nutricionalmente que poderiam ser processados para a produção de alimentos, para a alimentação e para uso como substrato na produção de diversas substâncias químicas (TIMOFIECSYK e PAWLOWSKY, 2000; KHALIL, 2002; PELIZER *et al.*, 2007).

O Brasil produz uma quantidade considerável de resíduos durante o processo de beneficiamento ou processamento de culturas agrícolas. Por ser o maior produtor mundial de café e o segundo maior consumidor, produz anualmente 50 milhões de sacas de 60 kg, sendo que 50 % do café em coco correspondem ao grão e 50 % a casca e ao pergaminho. Assim, em 2012, foram gerados mais de um bilhão de toneladas de casca de café como resíduo (CONAB, 2012).

O Brasil produziu, em 2012, mais de 70 milhões de toneladas de milho em grãos. Essa quantidade de grãos corresponde entre 45 a 55 % da espiga, 15 a 20 % corresponde ao sabugo e outros 25 a 40 % correspondem à palha, gerando por ano mais de 10 milhões de toneladas de sabugo (CONAB, 2012). Segundo a CONAB (2012), 600 milhões de toneladas de cana-de-açúcar são colhidas por ano no país. A cana-de-açúcar recebe diferentes destinos sendo que 44,8 % do total são direcionados à produção de álcool combustível, 43,9 % ao açúcar refinado, 11,3 % a cachaça e açúcar mascavo. Em todos os destinos dados à cana-de-açúcar ocorre a geração de grande volume de bagaço. A partir de cada tonelada de cana prensada, 140 kg de bagaço são gerados, produzindo um montante anual de aproximadamente 84 milhões de toneladas de bagaço no país (ROSA *et al.*, 2011).

A casca e a serragem de eucalipto são resíduos produzidos em grandes quantidades na produção de papel e celulose, pelas indústrias moveleiras e de construção civil. São produzidos no Brasil por ano, 40 m<sup>3</sup> por hectare de eucalipto em quase cinco milhões de hectares de área plantada (ABRAF, 2011). No entanto, somente 40 a 60 % de cada tora são aproveitadas, gerando diversos resíduos que são classificados de acordo com o tamanho da partícula gerada. Dos resíduos gerados (cavaco, maravalha, serragem e pó), 22 % correspondem à serragem (DACOSTA *et al.*, 2005).

### 3. IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

A quantidade e a composição química dos resíduos produzidos constituem um problema ao meio ambiente, pois grande parte desse material

permanece no local onde foram produzidos ou são lançados em locais inapropriados para descarte. A casca de café e o bagaço de cana-de-açúcar em decomposição produzem gases que contribuem para o efeito estufa, além de causar mau cheiro e proliferação de insetos. Os resíduos de madeira e sabugos de milho quando queimados em locais inadequados poluem o ar e as sobras do processo de queima contaminam o solo e a água (IBGE, 2006; OKANO *et al.*, 2006; FERREIRA-LEITÃO *et al.*, 2010).

Além de gerar problemas ambientais potenciais, os resíduos ligninocelulósicos representam perdas de matéria-prima e energia exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. Muitas vezes esses tratamentos não eliminam por completo os resíduos gerados, mas apenas os transferem para outros locais não apropriados onde são depositados (TIMOFIECSYK e PAWLOWSKY, 2000; PALACIOS-ORUETA *et al.*, 2005). Segundo LAUFENBERG *et al.* (2003), os resíduos podem conter diversas substâncias de alto valor nutricional, energético e econômico. Com o emprego de tecnologias adequadas, estes materiais podem ser convertidos em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários (LAUFENBERG *et al.*, 2003; OKANO *et al.*, 2006; GASSARA *et al.*, 2010; HASUNUMA *et al.*, 2012; LIMAYEM e RICKE, 2012; MENEZES *et al.*, 2012).

O Brasil possui elevado potencial para uso de vários resíduos agrícolas, a exemplo do que já vem sendo realizado por algumas empresas do setor agroindustrial. Nas usinas de álcool combustível, o bagaço de cana-de-açúcar pode ser utilizado para abastecer as caldeiras e 90 % do bagaço de cana-de-açúcar produzidos pelas usinas do Estado de São Paulo são consumidos pelas próprias usinas (IBGE, 2006). A maioria dos resíduos produzidos pode ser queimada em reatores para produção de energia. Uma tonelada de bagaço de cana-de-açúcar possui potencial para gerar 70 quilowatts/hora (IBGE, 2007). As empresas de papel e celulose fazem compostagem com mais de 1.400 toneladas de casca de eucalipto e essa compostagem é vendida para ser utilizada como adubo na jardinagem (REVISTA ARACRUZ, 2007).

#### 4. COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS LIGNINOCELULÓSICOS

A composição química das plantas é consideravelmente diferente e influenciada por fatores genéticos e ambientais. No entanto, celulose, hemicelulose e lignina são os principais constituintes dos materiais ligninocelulósicos, além de pectina, cutina, xilana e ácido ferúlico, sendo que a reciclagem destes componentes é indispensável para o ciclo do carbono (JUNG *et al.*, 1992; ELDER e KELLY, 1994; MALHERBE e CLOETE, 2002; PÉREZ *et al.*, 2002; DASHTBAN *et al.*, 2009; SÁNCHEZ, 2009). Estes três principais constituintes dos vegetais encontram-se unidos por ligações químicas não covalentes e por ligações cruzadas covalentes, constituindo uma estrutura terciária que funciona como barreira química e física para a biodegradação “in natura” (MALHERBE e CLOETE, 2002).

O componente em maior quantidade nos materiais ligninocelulósicos é a celulose, que corresponde a 45 % do peso seco da madeira. Esta porcentagem pode variar com a idade, a espécie, o estágio e as condições de crescimento (JEFFRIES, 1994; SÁNCHEZ, 2009). A celulose é um polímero linear de glicose unida por ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4, que formam um arranjo cristalino pouco solúvel e resistente à hidrólise em condições naturais (MAGNELLI e FORCHIASSIN, 1999; MALHERBE e CLOETE, 2002; SÁNCHEZ, 2009). As cadeias longas de glicose estão unidas umas as outras por ligações de hidrogênio ou ligações de van der Waals formando um dos elementos da fibra (HEREDIA *et al.*, 1995). Além da conformação cristalina, tem-se uma pequena porcentagem de cadeias de celulose que forma a celulose amorfa, cuja conformação é mais susceptível a degradação enzimática. A celulose nas plantas está sempre associada a outras substâncias (lignina, hemicelulose, cutina) e esta associação pode afetar sua biodegradação (PÉRES *et al.*, 2002; SÁNCHEZ, 2009).

A hemicelulose é um heteropolímero de carboidratos complexos e possui entre 25 a 30 % da matéria seca da madeira. Essa porcentagem pode ser variável de acordo com a espécie, idade, época e condição de crescimento (PÉRES *et al.*, 2002). É um polissacarídeo de baixo peso molecular quando comparado à celulose, contendo entre 70 e 200 unidades de monossacarídeos (COUGHLAN, 1992; SÁNCHEZ, 2009), sendo formada

por D-xilose, D-manose, D-galactose, D-glicose, D-arabinose e ácidos 4-O-metil-glicurônico, D-galacturônico e D-glicurônico (KUHAD *et al.*, 1997; SÁNCHEZ, 2009). A composição das hemiceluloses pode ser influenciada por vários fatores como crescimento, maturação, tipos de solo, localização geográfica e tipos de fertilizante utilizados (Wilkie, 1979). Os açúcares estão unidos por ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4 e ocasionalmente ligações glicosídicas  $\beta$ -1,3. A principal diferença entre celulose e hemicelulose é que a hemicelulose possui ramificações com pequenas cadeias laterais e estas ramificações consistem de diferentes açúcares (SÁNCHEZ, 2009). Em contraste com a celulose, a hemicelulose é facilmente hidrolisada, pois não forma agregados mesmo quando formando cristais com cadeias de celulose (JEFFRIES, 1994).

A parede celular das plantas contém xilanas, xiloglicanas e heteroxilanas (DEY e BRINSON, 1984). A xilana, principal componente da hemicelulose, é um polímero constituído de monômeros de xilose unidos por ligações  $\beta$ -1,4 (JEFFRIES, 1994, SÁNCHEZ, 2009). Entretanto, podem ocorrer diferentes substituições na cadeia principal, dependendo da origem da xilana, as quais incluem: acetilação do C-2 ou C-3, ácidos glicurônicos ou 4-Ometilglicurônico em ligações  $\alpha$ -1,2 e arabinofuranosil em ligações  $\alpha$ -1,3 (COUGHLAN, 1992).

A lignina juntamente com a celulose é o mais abundante polímero na natureza e o mais abundante material aromático, representando cerca de 40 % da energia solar armazenada nas plantas (LEONOWICZ *et al.*, 1999). Está presente na parede celular vegetal conferindo suporte estrutural, impermeabilidade, resistência contra ataque de micro-organismos e estresse oxidativo (KIRK *et al.*, 1976, ROUAU e ODIER, 1986; PÉRES *et al.*, 2002; SÁNCHEZ, 2009).

Estruturalmente a lignina é um heteropolímero amorfo, não solúvel em água, inicialmente inativo, que consiste de unidades fenilpropano unidas por diferentes tipos de ligações (SÁNCHEZ, 2009). A lignificação é um processo bioquímico que abrange a biossíntese de monolignóis, seu transporte e a polimerização na parede celular. De um modo geral, a complexidade estrutural das ligninas depende das ligações formadas entre as unidades constitucionais durante o processo de polimerização (MICIC



*et al.*, 2002). Para formar os precursores terminais (ésteres de ácidos fenilpropanóides) ocorrem sucessivas oxidações e metilações. A lignina é sintetizada a partir de três alcoóis fenilpropionícos: coumaril, coniferil e sinaptil. O resultado final da polimerização é uma estrutura heterogênea com unidades básicas que estão ligadas por ligações C-C, C-O-C e aril-éter, sendo o éter  $\beta$ -aril aril-glicerol a estrutura predominante (PÉRES *et al.*, 2002; LECHNER e PAPINUTTI, 2006; SÁNCHEZ, 2009).

LIYAMA *et al.* (1990) mostraram que alguns ácidos fenólicos, principalmente o ácido ferúlico do trigo, estão unidos aos carboidratos por ligação éster e a lignina por ligações éter, formando uma estrutura estável na parede celular. O tipo de ligação é importante, visto que ligações éster são mais facilmente rompidas por micro-organismos, quando comparadas às ligações éter (KONDO *et al.*, 1991). Segundo WALDROP *et al.* (2000), a ligninocelulose é um substrato complexo e sua biodegradação não depende somente das condições ambientais, mas da capacidade degradativa e composição das comunidades microbianas, o que determina a taxa e a extensão da biodegradação.

## DEGRADAÇÃO ENZIMÁTICA DE RESÍDUOS LIGNINOCELULÓSICOS

Os processos de degradação de celulose e hemicelulose são de natureza hidrolítica e ocorrem com relativa facilidade (WOOD e GARCIA-CAMPAYO, 1994; SÁNCHEZ, 2009). Entretanto, a degradação da lignina representa um processo oxidativo complexo, não específico e estritamente dependente das condições do meio de cultivo do organismo (KIRK e FARRELL 1987; SÁNCHEZ, 2009).

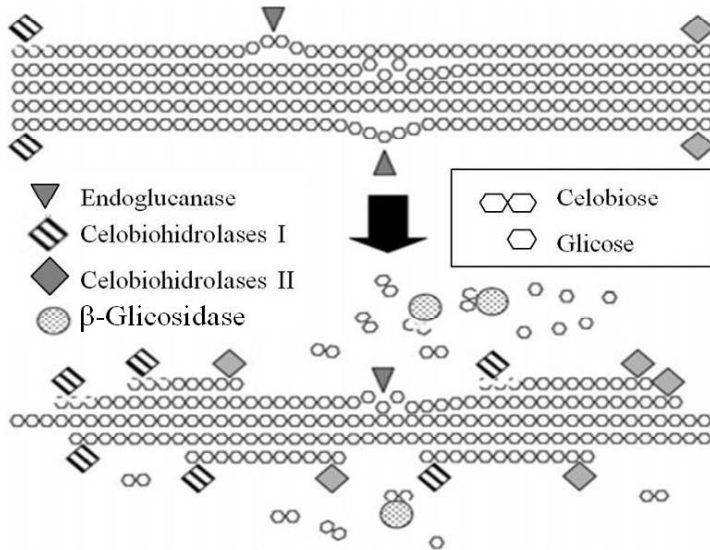
## BIODEGRADAÇÃO DA CELULOSE

Os organismos, predominantemente, responsáveis pela degradação da ligninocelulose são os fungos, e os mais rápidos degradadores deste grupo são os fungos basidiomicetos (ten HAVE e TEUNISSEN, 2001;

BENNETT *et al.*, 2002; RABINOVICH *et al.*, 2004; SÁNCHEZ, 2009). Os micro-organismos celulolíticos podem estabelecer relações de sinergismo com espécies não celulolíticas e interações tróficas entre diferentes populações resultando na completa degradação da celulose, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O em condições aeróbias e CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O em condições anaeróbias (LESCHINE, 1995; SÁNCHEZ, 2009).

Segundo MALHERBE e CLOETE (2002), a hidrólise eficiente da celulose requer micro-organismos capazes de produzir diferentes enzimas que agem em conjunto. As celulasas hidrolisam as ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4 da celulose, podendo ser dividida em três grandes classes diferentes: endoglucanases ou endo-1-4- $\beta$ -glucanase, celobiohidrolases e  $\beta$ -glucosidase (Figura 1) (SÁNCHEZ, 2009). As endoglucanases (endo-1,4- $\beta$ -glucanases), comumente chamadas de carboximetilcelulasas, hidrolisam as ligações internas, preferencialmente a região amorfa da celulose liberando novas extremidades e moléculas de celobiose. O passo limitante para a degradação da celulose é a habilidade da endoglucanase de alcançar a região amorfa dentro da matriz cristalina e criar novos terminais de cadeias que podem ser atacados pela celobiohidrolases (Figura 1) (MALHERBE e CLOETE, 2002; SÁNCHEZ, 2009).

As celobiohidrolases, frequentemente chamadas de exoglucanases (exo-1,4- $\beta$ -glucanases), hidrolisam as cadeias terminais já existentes ou geradas pelas endoglucanases. Ambas as enzimas podem degradar celulose amorfa, mas somente as celobiohidrolases degradam de maneira eficiente a celulose cristalina. A hidrólise eficiente da celulose requer a ação conjunta de  $\beta$ -glicosidases, que clivam a celobiose liberando duas moléculas de glicose (Figura 1) (MALHERBE e CLOETE, 2002; SÁNCHEZ, 2009).



**Figura 1** – Esquema simplificado do processo completo de hidrólise enzimática de microfibrilas de celulose (Adaptada de MALHERBE e CLOETE, 2002).

## BIODEGRADAÇÃO DA HEMICELULOSE

A hemicelulose é biodegradada em monômeros de açúcar (xilose, manose) e ácido acético por hemicelulases produzidas por microorganismos. As hemicelulases são frequentemente classificadas de acordo com o seu modo de ação em diferentes substratos e muitas enzimas usadas na hidrólise da celulose também são usadas na hidrólise de hemicelulose. Muitas outras enzimas são requeridas para a completa degradação da hemicelulose, sendo que as xilanases estão em maiores quantidades entre as hemicelulases (MALHERBE e CLOETE, 2002; SÁNCHEZ, 2009).

O complexo enzimático que catalisa a hidrólise de hemiceluloses é formado de endoenzima,  $\beta$ -1,4-D-xilanase que cliva as ligações glicosídicas internas e de uma exoenzima,  $\beta$ -D-xilidase, que remove resíduos de açúcar nos finais das cadeias (COUGHLAN, 1992). A hidrólise completa da

hemicelulose depende da presença de enzimas auxiliares como as xilanas esterases,  $\beta$ -1-arabinofuranosidasas e  $\beta$ -4-Ometil glicuranasidasas, que agem em sinergismo para a hidrólise eficiente de xilanas e mananas (JEFFRIES, 1994; KIRK e CULLEN, 1998; PINHEIRO, 1999; SÁNCHEZ, 2009).

A biodegradação de O-acetil-4-O-metilglicuranoxilana, um dos constituintes mais comuns da hemicelulose, requer a participação de quatro enzimas: endo-1,4- $\beta$ -xilanasase (endoxilanasase), acetil esterase,  $\beta$ -glucuronidase e  $\beta$ -xilosidase (PÉRES *et al.*, 2002). Segundo KULKARNI *et al.* (1999), a hidrólise de ligações  $\beta$ -glicosídicas ocorre por meio de catalisadores ácidos comuns para todas as glicanasas.

## BIODEGRADAÇÃO DA LIGNINA

A degradação da lignina é geralmente dificultada pela sua estrutura complexa, seu alto peso molecular e sua insolubilidade. A degradação da lignina depende do tipo de substrato, da umidade relativa do substrato, da temperatura de incubação, da oxigenação e do pH (CAPELARI, 1996). A melhora na qualidade da despolimerização depende da espécie de fungo, da fração botânica estudada e da preparação prévia do substrato para a degradação fúngica (KARUNANANDAA e VARGA, 1996). Enzimas microbianas extracelulares e oxidativas liberam produtos altamente instáveis que promovem diferentes reações oxidativas catalisando assim o passo inicial da despolimerização da lignina (VICUNA, 2000). Segundo PÉRES *et al.*, (2002), as duas maiores famílias de enzimas envolvidas na ligninólise são as peroxidases e as lacases. Essas enzimas necessitam de cofatores de baixo peso molecular para realizar a degradação da lignina.

Dois grupos de peroxidases isoladas de fungos da podridão branca têm sido amplamente estudados: lignina peroxidase (LiP) e manganês peroxidase (MnPs). LiP e MnP oxidam o substrato em duas etapas consecutivas de transferências de elétrons com formação de cátions como intermediários (PÉRES *et al.*, 2002; MARTINEZ *et al.*, 2004; SÁNCHEZ, 2009).

As lacases são cuproproteínas com massa molecular variando entre

60 a 80 kDa que catalisam a oxidação de ampla variedade de substratos, a exemplo de compostos fenólicos e aminas aromáticas (THURSTON, 1994; CALL e MUCKE, 1997). Estas enzimas possuem baixa especificidade pelo substrato e oxidam fenóis e subestruturas da lignina com a formação de radical peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e hidroxil (OH) (SAPARRAT *et al.*, 2002). As ligações da lignina com os componentes hemicelulósicos das plantas, as ligações covalentes e o arranjo tridimensional previnem a biodegradação dos carboidratos das plantas por micro-organismos celulósicos e hemicelulósicos. Como resultado, quantidades consideráveis de carbono e energia permanecem inutilizados e constituem perdas econômicas (AKIN *et al.*, 1996). KARUNANANDAA *et al.* (1995) concluíram que a lignificação dos polissacarídeos estruturais não inibem somente a digestão microbiana dos polissacarídeos pela formação da matriz 3-D, mas também pela presença de tecidos altamente lignificados formando uma barreira física que impede o acesso de enzimas hidrolíticas dos micro-organismos aos tecidos facilmente digestíveis.

## FUNGOS CAUSADORES DA PODRIDÃO BRANCA

Os fungos são conhecidos e consumidos pelo homem desde a antiguidade. Nos últimos anos, a produção e o consumo de cogumelos vêm aumentando e ganhando destaque em razão do reconhecimento de que os cogumelos, além de serem nutritivos, possuem propriedades benéficas à saúde e efeitos medicinais (YAMANAKA, 1997; SÁNCHEZ, 2004; 2010).

A produção de cogumelos é considerada a segunda mais importante tecnologia microbiana comercial ao lado de levedura (PATHAK *et al.*, 2009; SÁNCHEZ, 2010). Estima-se que o cultivo de cogumelos iniciou na China há cerca de 1.400 anos, com a espécie *Auricularia auricula* (PASCHOLATI *et al.*, 1998). Cerca de 200 a 300 anos mais tarde, iniciou-se o cultivo da espécie *Flamulina velupides*. A terceira espécie a ser cultivada foi o *Lentinula edodes*, há cerca de 1.000 anos (CHANG e MILES, 1987; PASCHOLATI *et al.*, 1998).

Existem mais de 12.000 espécies de fungos produtores de cogumelos. Além das espécies comestíveis, algumas são venenosas, outras alucinogênicas, e ainda existem as que possuem propriedades medicinais ou mesmo afrodisíacas (CHANG, 1996; PASCHOLATI *et al.*, 1998; CHANG, 1999; SÁNCHEZ, 2010). Apenas cerca de 35 das mais de 2.000 espécies de fungos comestíveis são utilizadas como alimento humano, sendo 20 espécies cultivadas em escala industrial (BARNY, 2009; SÁNCHEZ, 2010). Embora muitos cogumelos comestíveis tenham propriedades medicinais, nem todos os medicinais são considerados comestíveis (BORCHERS *et al.*, 1999).

Algumas espécies de cogumelos comestíveis são muito apreciadas como aromatizantes, melhorando o sabor de outros alimentos, sendo utilizadas como condimentos. São ingredientes essenciais para muitos pratos chineses e japoneses (TSUNEDA, 1994; MORAIS *et al.* 2000; ISHIKAWA *et al.*, 2001; SÁNCHEZ, 2004). As quatro espécies de cogumelos comestíveis mais cultivadas são: *Agaricus bisporus* (champignon), *Lentinula edodes* (shiitake), *Pleurotus ostreatus* e *Flammulina velutipes* (CHANG e MILES, 2004; AIDA *et al.*, 2009; KALAC, 2013). Entre os cogumelos, o champignon é o mais produzido e consumido no mundo, principalmente pelos europeus e asiáticos (CHANG, 1980; SÁNCHEZ, 2004; RÜHL *et al.*, 2008; SÁNCHEZ, 2010).

*Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus* estão entre os cogumelos comestíveis mais cultivados no mundo (SÁNCHEZ, 2004). Esses fungos são decompositores primários, conhecidos como causadores da podridão branca, habitam naturalmente a madeira morta de várias espécies de árvores, sob diferentes condições climáticas (PRZYBYLOWICZ e DONOGHUE, 1990; OHGA, 1992; RINKER, 2002; SÁNCHEZ, 2010). A produção de fungos causadores da podridão branca são exemplos de bioconversão da madeira e de outros materiais ligninocelulósicos, que constituem grande parte da biomassa renovável (BUSWELL *et al.*, 1995; SÁNCHEZ, 2004; 2009; 2010). Estas espécies requerem menor tempo de crescimento comparado com outros cogumelos comestíveis, exigem pouco controle ambiental e podem ser cultivadas de maneira simples e barata (BONATTI *et al.*, 2004).

Os fungos causadores da podridão branca têm a capacidade de

degradar diferentes resíduos ligninocelulósicos (Sánchez, 2009) e quando cultivados em substratos altamente lignificados, produzem grande variedade de enzimas, dentre as quais a peroxidase dependente de manganês e a lacase, enzimas relacionadas à despolimerização da lignina (LEATHAM, 1986; BUSWELL *et al.*, 1995, 1996), bem como enzimas extracelulares, incluindo ligninases, celulases, hemicelulases, fosfatases ácidas, dentre outras, contribuem para a degradação e reciclagem da madeira e de resíduos ligninocelulósicos (MISHRA e LEATHAM, 1990; BABASAKI e OHMASA, 1991; TSUNEDA, 1994; KACHLISHVILI *et al.*, 2005; PHILIPPOUSSIS *et al.*, 2011; SÁNCHEZ, 2010).

POPPE (2000) relatou que existe cerca de 200 tipos de resíduos na qual os cogumelos comestíveis podem ser produzidos. Os fungos basidiomicetos causadores da podridão branca utilizados na inoculação de substratos ligninocelulósicos, tais como *Phanerochaete*, *Pleurotus*, *Trametes*, *Ganoderma*, *Lentinula*, *Pycnoporus* e *Polyporus* são capazes de degradar celulose, hemicelulose e lignina (CAPELARI, 1996; SOUZA, 1998; SINGH *et al.*, 2010; SHARMA e ARORA, 2010; YANG *et al.*, 2010a; 2010b; CAMASSOLA e DILLON, 2009; DONG *et al.*, 2013). Durante o crescimento e a frutificação, os basidiomicetos causadores da podridão branca da madeira decompõem enzimaticamente o substrato, solubilizando carboidratos (celulose, hemicelulose), lignina a CO<sub>2</sub> e água (SÁNCHEZ, 2009; 2010).

Os fungos causadores da podridão branca são capazes de degradar preferencialmente a lignina junto com celulose e hemicelulose (ZADRAZIL *et al.*, 1996) e são os únicos organismos que mineralizam lignina a CO<sub>2</sub> e água sob condições de cultura pura (GOLD e ALIC, 1993; SÁNCHEZ, 2010).

## PROPRIEDADES DOS COGUMELOS COMESTÍVEIS

Em geral, os cogumelos comestíveis contêm 90 % de água e 10 % de matéria seca. São consumidos e apreciados pelo seu sabor, valores econômicos e ecológicos e propriedades medicinais por muitos anos (MORAIS *et al.* 2000; SÁNCHEZ, 2004; 2010). Possuem composição

química que são atrativos do ponto de vista nutricional (GBOLAGADE *et al.*, 2006; DUNDAR *et al.*, 2008), podendo ser comparados a ovos, leite e carne (OEI, 2003). Os cogumelos também contêm vitaminas (B1, B2, B12, C, D e E) e diferentes aminoácidos essenciais em abundância (SÁNCHEZ, 2004; 2010, HELENO *et al.*, 2010).

Os cogumelos frescos podem conter entre 85 a 95% de água (PRZYBYLOWICZ e DONOGHUE, 1990; KALAC, 2013). Seu valor protéico é relativamente alto, representando entre 10 e 29% de sua matéria seca, sendo esse valor semelhante, ou até maior, ao encontrado em muitos grãos (PASCHOLATI *et al.*, 1998; KALAC, 2009; 2012; 2013). Suas proteínas contêm todos os aminoácidos essenciais em concentrações adequadas para a nutrição humana (CHANG, 1980; PASCHOLATI *et al.*, 1998; KALAC, 2013).

Do total de matéria seca dos cogumelos, 43 a 78% correspondem a carboidratos e 2,6 a 12% a minerais (KALAC, 2013). Cálcio, fósforo, ferro, selênio, zinco, magnésio, cobre, sódio e potássio estão presentes em concentrações significantes (KURTZMAN, 1997; SADLER, 2003; KALAC, 2013). O substrato utilizado para o crescimento do fungo pode influenciar a composição química e, conseqüentemente, o valor nutricional dos cogumelos (MANZI *et al.*, 1999; SADLER, 2003). Alguns estudos têm demonstrado que os fungos são capazes de acumular fósforo, potássio, cálcio e até mesmo, metais pesados, como cádmio, chumbo e mercúrio, quando presentes no substrato mostrando que a composição do substrato pode ter influência decisiva na composição do fungo (STURION e RANZANI, 2000; ÇAGLARIRMAK, 2007; KALAC, 2013). Os cogumelos comestíveis também são ricos em vitaminas, a exemplo da tiamina, da riboflavina, da niacina, da biotina, do ácido ascórbico (CHANG e BUSWELL, 1996; MATTILA *et al.*, 2001; ÇAGLARIRMAK, 2007; KALAC, 2013) e do ergocalciferol (TAKAMURA *et al.*, 1991).

Além do valor nutricional, os cogumelos são bastante utilizados pelo seu valor medicinal. Diversos compostos biologicamente ativos dos cogumelos têm sido isolados e purificados. Alguns destes compostos podem ter mais de um efeito terapêutico, podendo ainda ocorrer sinergismo entre eles. Estudos recentes demonstraram que esses compostos apresentam várias propriedades medicinais, como, antitumoral, anticarcinogênica, antiviral,



previne o aumento da pressão sanguínea em casos de hipertensão e efeito hipocolesterolêmico. Atividade antibacteriana, antifúngica e antiviral também tem sido observada (JONG e BIRMINGHAM, 1993; ISHIKAWA *et al.*, 2001; BARROS *et al.*, 2007; 2008a,b; HEARST *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2009; VAZ *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2012; KALAC, 2009; 2012; 2013).

Os cogumelos medicinais mais importantes incluem o *Ganoderma lucidum*, *L. edodes*, *Grifola frondosa*, *Auricularia auricula* e *Pleurotus* spp.. As duas áreas de maior interesse são: 1) o papel dos fungos como potenciadores do sistema imune e imunomoduladores, e 2) seus efeitos na redução do colesterol. Outras áreas de interesse científico incluem o impacto dos cogumelos na pressão arterial sanguínea e na diabetes, e seus efeitos na atividade antiviral, antibacteriana e antioxidante (SADLER, 2003).

Dentro as diferentes espécies de cogumelos comestíveis e medicinais, *P. ostreatus* e *A. bisporus* são os mais ricos em lovastatina (substância que previne doenças cardiovasculares), *F. velutipes* e *B. edulis* são ricos em ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) (em humanos é responsável pela regulação do tônus muscular) e de uma forma geral, espécies de *Pleurotus* são ricas em ergotioneína. Todos esses compostos possuem efeitos favoráveis à saúde (ROUPAS *et al.*, 2010; KALAC, 2013). Estudos realizados com o fungo *P. ostreatus* observaram que o cogumelo pode diminuir o colesterol e os níveis de glicemia em pacientes com diabetes (KATHATUN *et al.*, 2007).

O lentinan, um polissacarídeo isolado e purificado do corpo de frutificação do *L. edodes*, apresenta atividades antitumorais, imonomoduladora, antifúngica, antibacteriana e antiviral (WASSER, 2002; NGAI e NG, 2003; KUPFAHL *et al.*, 2006; HEARST *et al.*, 2009; TAKAHASHI e CARVALHO, 2010). O mecanismo antitumoral do lentinan não foi ainda totalmente elucidado, mas o lentinan não é tóxico para as células tumorais, porém inibe o crescimento do tumor por estimular o sistema imunológico (ISRAILIDES *et al.*, 2008). Outros compostos isolados de *L. edodes* é o lentinacina, também conhecida como eritadenina, com efeito na redução do colesterol e nos níveis de glicemia no sangue e o complexo polissacarídeo peptídeo KS-2 e este composto, quando aplicado em ratos via oral ou intraperitoneal, suprime o desenvolvimento de tumores (HEARST *et al.*, 2009).

Estudos têm sido realizados e foi observado potencial antioxidante do fungo *L. edodes*. Os compostos antioxidantes reduzem a ação de espécies reativas de oxigênio (ROS) que causam danos aos tecidos (KITZBERGER *et al.*, 2007). A atividade bactericida de *L. edodes* contra *Streptococcus mutans* e *Prevotella intermedia* foi observada por HIRASAWA *et al.* (1999). A atividade antimicrobiana de *L. edodes* foi verificada contra *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans* (JONG e BIRMINGHAM, 1993). O crescimento de algumas bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, fungos filamentosos e leveduras foram inibidos pelo filtrado da cultura de *L. edodes* (KOMEMUSHI *et al.*, 1995).

A atividade antimicrobiana do *L. edodes* também foi avaliada contra fungos filamentosos e vírus. O efeito inibitório de quatro isolados de *L. edodes* (Le10, 46, K2 e Assai) foi verificado contra fungos fitopatogênicos (*Helminthosporium euphorbiae*, *Helminthosporium sp.*, *Fusarium solani* e *Phomopsis sojae*) e contra o vírus da estomatite vesicular (VSA), sorotipo Alagoas (SASAKI *et al.*, 2001). PACUMBABA *et al.* (1999) estudando o extrato micelial de *L. edodes* verificaram a inibição do crescimento de *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* e *Staphylococcus aureus*, bactérias contaminantes de alimentos e patogênicas para humanos; bem como bactérias que são fitopatogênicas dos gêneros *Pseudomonas*, *Xanthomonas* e *Erwinia*. Também demonstrou *in vitro* que o extrato micelial, quando aplicado em solos, previne a expressão de doença bacteriana de tomate e feijão lima, sugerindo que o extrato micelial possui atividade antimicrobiana. CASARIL *et al.*, (2011) observaram que os extratos aquosos nas concentrações, correspondentes a 40 mg da matéria seca dos cogumelos *L. edodes*, inibiram o crescimento tanto de *Bacillus subtilis* como de *Escherichia coli* K-12, sejam eles cultivados em diferentes substratos, colhidos em diferentes estádios do desenvolvimento ou quando processados frescos ou desidratados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados no presente estudo apontam que no Brasil

são produzidos, anualmente, milhões de toneladas de resíduos agroindustriais ligninocelulósicos. Através da bioconversão, tais resíduos poderiam ser utilizados para a produção de alimentos, utilizando fungos causadores da podridão branca. Estes fungos apresentam uma variedade de enzimas capazes de degradar material ligninocelulósico, minimizando assim o impacto ambiental causado pelos resíduos e gerando um alimento de alto teor nutricional.

Muitos desses fungos, já foram bastante estudados e estão bem adaptados às condições de cultivo nas regiões brasileira. Diferentes espécies são produtoras de cogumelos comestíveis bastantes apreciados pelo seu sabor, valores econômicos e ecológicos, além de produzirem inúmeros compostos bioativos com atividades antitumoral, antiviral, antifúngica, antibacteriana, além de diminuir a pressão arterial, o colesterol e os índices glicêmicos.

## REFERÊNCIAS

- ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas plantadas, 2011. Disponível em < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>. > Acesso em 26/01/2013.
- Aida, F.M.N.A.; Shuhaimi, M.; Yazid, M.; Maaruf, A.G., 2009. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 567-575.
- Akin, D.E.; Morrison Iii, W.H.; Rigsby, L.L.; Gamble, G.R.; Sethuraman, A.; Eriksson, K.-E.L., 1996. Biological delignification of plant components by the white rot fungi *Ceriporiopsis subvermispora* and *Cyathus stercoreus*. *Animal Feed Science Technology*, 63, 305-321.
- Babasaki, K., Ohmasa, M., 1991. Breeding of shiitake mushrooms, *Lentinus edodes*, with high ligninolytic activity. *Science and Cultivation of Edible Fungi*, 130, 344-348.
- Barny, D.L., 2009. Growing mushrooms commercially: risks and opportunities ETSE <http://www.naturalresource.msstate.edu/resources/mushroom.htm>.
- Barros, L.; Baptista, P.; Ferreira, I.C.F.R., 2007. Effect of *Lactarius piperatus* fruiting body maturity stage on antioxidant activity measured by several biochemical assays. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 1731-1737.

Barros, L.; Correia, D.M.; Ferreira, I.C.F.R.; Baptista, P.; Santos-Buelga, C., 2008a. Optimization of the determination of tocopherols in *Agaricus* sp. Edible mushrooms by a normal phase liquid chromatographic method. *Food Chemistry*, 110, 1046-1050.

Barros, L.; Cruz, T.; Baptista, P.; Estevinho, L.M.; Ferreira, I.C.F.R., 2008b. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 2742-2747.

Bennett, J. W.; Wunch, K.G.; Faison, B. D., 2002. Use of fungi in biodegradation. In: Hurst CJ, editor. *Manual of Environmental Microbiology*. WashingtonDC: AMS press; p. 960–71.

Bonatti, M.; Karnopp, P.; Soares, H.M.; Furlan, S.A., 2004. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*, 88, 425-428.

Borchers, A. T., Stern, J. S., Hackman, R. M., Keen, C. L., Gershwin, M. E., 1999. Mushrooms, tumor, and immunity. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 221, 281-293.

Buswell, J., Cai, Y. J., Chang, S. T., 1995. Effect of nutrient nitrogen and manganese or manganese peroxidase and laccase production by *Lentinula (Lentinus) edodes*. *FEMS Microbiology Letters*, 128, 81-88.

Buswell, J.; Cai, Y. J.; Chang, S. T.; Peberdy, J. E.; Fu, S. Y.; Yu, H.-S., 1996. Lignocellulolytic enzyme profiles of edible mushroom fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12, 473-476.

Çaglarýrmak, N., 2007. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. *Food Chemistry*, 105, 1188–1194.

Call, H.P.; Mucke, I., 1997. History overview and applications of mediated ligninolytic system especially laccase-mediator-systems (Lignozym-process). *Journal of Biotechnology*, 53, 163-202.

Camassola, M.; Dillon, A. J. P., 2009. Biological pretreatment of sugar cane bagasse for the production of cellulases and xylanases by *Penicillium echinulatum*. *Industrial Crops and Products*, 29 (2), 642-647.

Capelari, M., 1996. Atividade biodegradadora e cultivo de três espécies comestíveis de basidiomicetos: *Pleurotus* spp. e *Agrocybe perfecta* (Rick) Sing. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 190p. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de São Paulo.

Casari, K. B. P. B.; Kasuya, M. C. M.; Vanetti, M. C. D., 2011. Antimicrobial activity and mineral composition of shiitake mushrooms cultivated on agricultural

- waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54 (5), 991-1002.
- Chang, R., 1996. Functional properties of edible mushrooms. *Nutrition Reviews*, 54, S91-S93.
- Chang, S. T., 1980. Mushrooms as human food. *Bioscience*, 30 (6), 399-401.
- Chang, S. T., 1999. Production of cultivated edible mushrooms in China with emphasis on *Lentinula edodes*. *Information Security Management System Newsletter*, 78 (4), 3-6.
- Chang, S. T., Buswell, J. A., 1996. Mushroom Nutraceuticals. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12 (5), 473-476.
- Chang, S. T., Miles, P. G., 1987. Historical record of the early cultivation of *Lentinus* in China. *Mushroom Journal Tropics*, 7, 31-37.
- Chang, S.-T.; Miles, P.G., 2004. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*, 2<sup>nd</sup> ed.; Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2012. Disponível em < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_01\\_09\\_17\\_44\\_20\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_44_20_boletim_graos_janeiro_2013.pdf). > Acesso em 24/01/2013.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2012. Disponível em < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_12\\_20\\_16\\_01\\_51\\_boletimcafe\\_dezembro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_20_16_01_51_boletimcafe_dezembro_2012.pdf). > Acesso em 24/01/2013.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2012. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_04\\_10\\_09\\_19\\_04\\_boletim\\_de\\_cana.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_10_09_19_04_boletim_de_cana.pdf). > Acesso em 26/01/2013.
- Coughlan, M.P., 1992. Towards an understanding of the mechanism of action of main chain cleaving xylanases. In: VISSER, J. (Ed). *Xylan and Xylanases*. Amsterdam: Elsevier.
- Dacosta, L. P. E.; Haselein, C. R.; Santini, E. J.; Schneider, P. R.; Calegari, L., 2005. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. *Ciência Florestal*, 15 (4), 421-429.
- Dashtban, M.; Schraft, H.; Qin, W., 2009. Fungal Bioconversion of Lignocellulosic Residues; Opportunities & Perspectives. *International Journal of Biological Sciences*, 5 (6), 578-595.
- Dey, P. M.; Brinson, K., 1984. Plant cell-wall. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 42, 265-294.
- Dong, X. Q.; Yang, J. S.; Zhu, N.; Wang, E. T.; Yuan, H. L., 2013. Sugarcane bagasse degradation and characterization of three white-rot fungi. *Bioresource*

Technology. In press.

Dundar, A.; Acay, H.; Yildiz, A., 2008. Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology*, 7, 3497–3501.

Elder, D.J.; Kelly, D.J., 1994. The bacterial degradation of benzoic acid and benzenoid compounds under anaerobic conditions: Unifying trends and new perspectives. *FEMS Microbiological Reviews*, 13, 441–468.

Ferreira, I. C. F. R.; Barros, L.; Abreu, R. M. V., 2009. Antioxidants in wild mushrooms. *Current Medicinal Chemistry*, 16, 1543–1560.

Ferreira-Leitão, V., Gottschalk, L. M. F., Ferrara, M. A., Nepomuceno, A. L., Molinari, H. B. C., Bom, E. P. S., 2010. Biomass Residues in Brazil: Availability and Potential Uses. *Waste Biomass Valor*, 1, 65–76.

Gassara, F.; Brar, S. K.; Tyagi, R. D.; Verma, D.; Surampalli, R. Y., 2010. Screening of agro-industrial wastes to produce ligninolytic enzymes by *Phanerochaete chrysosporium*. *Biochemical Engineering Journal*, 49, 388–394.

Gbolagade, J.; Ajayi, A.; Oku, I.; Wankasi, D., 2006. Nutritive value of common wild edible mushrooms from Southern Nigeria. *Global Journal Biotechnology Biochemistry*, 1, 16–21.

Gold, M. H.; Alic, M., 1993. Molecular biology of the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Reviews Microbiology*, 57, 605–622.

Graminha, E. B. N., Gonçalves, A. Z. L., Pirola, R. D. P. B., Balsalobre, M. A. A., Silva, R., Gomes, E., 2008. Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 144, 1-22.

Hasunuma, T., Okazaki, F., Okai, N., Hara, K. Y., Ishii, J., Kondo, A., 2012. A review of enzymes and microbes for lignocellulosic biorefinery and the possibility of their application to consolidated bioprocessing technology. *Bioresource Technology*. In press.

Hearst, R.; Nelson, D. W. V. A.; McCollum, G.; Millar, B. C.; Maeda, Y.; Goldsmith, C. E.; Rooney, P. J.; Loughrey, A.; Rao, J. R.; Moore, J. E., 2009. An examination of the antibacterial and antifungal properties of constituents of shiitake (*Lentinula edodes*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 15 (1), 5-7.

Heleno, S.A.; Barros, L.; Sousa, M.J.; Martins, A.; Ferreira, I.C.F.R., 2010. Tocopherols composition of Portuguese wild mushrooms with antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 119, 1443-1450.

Heredia, A.; Jimenez, A.; Guillen, R., 1995. Composition of plant cell walls. *Z Lebensm Unters Forsch*, 200, 24–31.

Hirasawa, M.; Shouji, N.; Neta, T.; Fukushima, K.; Takada, K., 1999. Three kinds of bacterial substances from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (shiitake, an edible mushroom). *International Journal of Antimicrobial Agents*, 11 (2), 151–157.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Disponível em < [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=998&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=998&id_pagina=1).> Acesso em 22/02/2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007. Disponível em < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfagro\\_nova/agrocomejun2007.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfagro_nova/agrocomejun2007.pdf).> Acesso em 22/02/2013.

Ishikawa; N. K.; Kasuya, M. C. M.; Vanetti, M. C. D., 2001. Antibacterial activity of *Lentinula edodes* grown in liquid medium. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32, 206-210.

Israilides, C.; Kletsas, D.; Arapoglou, D.; Philippoussis, A.; Pratsinis, H.; Ebringerová, A.; Hříbalová, V.; Harding, S. E., 2008. In vitro cytostatic and immunomodulatory properties of the medicinal mushroom *Lentinula edodes*. *Phytomedicine*, 15, 512–519.

Jalc, D.; Siroka, P.; Fejes, J., Ceresnáková, Z., 1999. Effect of three strains of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing. on chemical composition and rumen fermentation of wheat straw. *Journal of General and Applied Microbiology*, 45, 277–282.

Jeffries, T.W., 1994. Biodegradation of lignin and hemicelluloses, In: RATLEDGE, C. (ed.) *Biochemistry of microbial degradation*. Kluwer, Dordrecht, 233–277.

Jong, S. C.; Birmingham, M., 1993. Medicinal and therapeutic value of the shiitake mushroom. *Advances in Applied Microbiology*, 39, 153-184.

JUNG, H.-J. G.; Valdez, F. R.; Hatfield, R. D.; Blanchette, R. A., 1992. Cell wall composition and degradability of forage stems following chemical and biological delignification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 347-355.

Kachlishvili, E., Penninckx, M. J., Tsiklauri, N., Elisashvili, V., 2005. Effect of nitrogen source on lignocellulolytic enzyme production by white-rot basidiomycetes under solid-state cultivation. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 22 (4), 391–397.

Kalac, P., 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: a review. *Food Chemistry*, 113, 9–16.

Kalac, P., 2012. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms, in *Mushrooms: Types, Properties and Nutrition*, ed. by Andres S and Baumann N. Nova Science, New York, pp. 129–152.

Kalac, P., 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of*

the *Science of Food and Agriculture*, 93, 209–218.

Karunanandaa, K.; Varga, G. A.; Akin, D. E.; Rigsby, L. L.; Royse, D. J., 1995. Botanical fractions of rice straw colonized by white-rot fungi: changes in chemical composition and structure. *Animal Feed Science and Technology*, 55, (3-4), 179-199.

Karunanandaa, K.; Varga, G.A., 1996. Colonization of crop residues by white-rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fiber components in vitro. *Animal Feed Science Technology*, 63, 273-288.

Kathatun, K.; Mahtab, H.; Khanam, P. A.; Sayeed, M. A.; Khan, K. A., 2007. Oyster mushroom reduced blood glucose and cholesterol in diabetic subjects. *Mymensingh Medical Journal*, 16, 94–9.

Khalil, A.I., 2002. Production and characterization of cellulolytic and xylanolytic enzymes from the ligninolytic white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* grown on sugarcane bagasse. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18 (8), 753-759.

Kirk, K.; Cullen, D., 1998. Enzymology and molecular genetics of wood degradation by white rot fungi. In: YOUNG, R.A.; AKHTAR, M. (Eds). *Environmental friendly technologies for pulp and paper industry*. Wiley, New York, 273-307.

Kirk, T.K.; Connors, W.J.; Zeikus, J.G., 1976. Requirement for a growth substrate during lignin decomposition by two wood-rotting fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 32, 192–4.

Kirk, T.K.; Farrel, R.L., 1987. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin. *Annual Review of Microbiology*, 41, 465-505.

Kitzberger, C. S. G.; Smânia Jr, A.; Pedrosa, R. C.; Ferreira, S. R. S., 2007. Antioxidant and antimicrobial activities of shiitake (*Lentinula edodes*) extracts obtained by organic solvents and supercritical fluids. *Journal of Food Engineering*, 80, 631–638.

Komemushi, S.; Yamamoto, Y.; Fujita, T., 1995. Antimicrobial substance produced by *Lentinus edodes*. *Journal of Antibacterial and Antifungal Agents*, 23 (2), 81-86.

Kondo, T.; Ohshita, T.; Kyuma, T., 1991. Ester- and ether-linked phenolic acids in orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) and their digestion from cell walls when fed to sheep. *Canadian Journal of Plant Science*, 71, 1179-1182.

Kuhad, R.C.; Singh, A.; Eriksson, K., 1997. Microorganisms and enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 57, 45–125.



- Kulkarni, N.; Shendye, A.; Rao, M., 1999. Molecular and biotechnological aspect of xylanases. *FEMS Microbiology Reviews*, 23, 411-456.
- Kupfahl, C.; Geginat, G.; Hof, H., 2006. Lentinan has a stimulatory effect on innate and adaptive immunity against murine *Listeria monocytogenes* infection. *International Immunopharmacology*, 6, 686-696.
- Kurtzman, R. H. J., 1997. Nutrition from mushrooms, understanding and reconciling available data. *Mycoscience*, 38 (2), 247-253.
- Laufenberg, G., 2003. Transformation of vegetable waste into added products: (A) The upgrading concept; (B) Practical implementations. *Bioresource Technology*, 87, 167-198.
- Leatham, G. F., 1986. The ligninolytic activities of *Lentinus edodes* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 4 (1), 51-58.
- Lechner, B.E.; Papinutti, V. L., 2006. Production of lignocellulosic enzymes during growth and fruiting of the edible fungus *Lentinus tigrinus* on wheat straw. *Process Biochemistry*, 41, 594-598.
- Leonowicz, A.; Matuszewska, A.; Luterek, J.; Ziegenhagen, D.; Wojtace-Wasilewska, M.; Cho, N. S.; Hofrichter, M.; Rogalski, J., 1999. Review: Biodegradation of lignin by white rot fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 27, 175-185.
- Leschine, S. B., 1995. Cellulose degradation in anaerobic environments. *Annual Review of Microbiology*, 49, 399-426.
- Limayem, A.; Ricke, S. C., 2012. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential, issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 449-467.
- Liyama, K.; Lam, T.B.T.; Stone, B.A., 1990. Phenolic acid bridges between polysaccharides and lignin in wheat internodes, *Phytochemistry*, 29, 733-737.
- Magnelli, P.; Forchiassin, F., 1999. Regulation of the cellulase complex production by *Saccobolus saccoboloides*: induction and repression by carbohydrates. *Mycologia*, 91, 359-64.
- Malherbe, S.; Cloete, T.E., 2002. Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 1, 105-114.
- Manzi, P.; Gambelli, L.; Marconi, S.; Vivanti, V.; Pizzoferrato, L., 1999. Nutrients in edible mushrooms: an inter-species comparative study. *Food Chemistry*, 65, 477-482.
- Martinez, G.; Larrondo, N.; Putman, N.; Gelpke, M. D. S.; Huang, K.; Chapman, J.; Helfenbein, K. G.; Ramaiva, P.; Detter, J. C.; Larimer, F.; Coutinho, P. M.; Henrissat, B.; Berka, R.; Cullen, D.; Rokhsar, D., 2004. Genome sequence of the lignocellulose

degrading fungus *Phanerochaete chrysosporium* strain RP78. *Nature Biotechnology*, 22, 1–6.

Mattila, P.; Kanko, K.; Earola, M.; Pihlava, J. M.; Astola, J.; Vahterist, L.; Hietaniemi, V.; Kumpulainen, J.; Valtonen, M.; Piironen, V., 2001. Contents of vitamins, mineral elements, some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 2343–2348.

Menezes, J. D. S., Druzian, J. I., Padilha, F. F., Souza, R. R., 2012. Produção biotecnológica de goma xantana em alguns resíduos agroindustriais, caracterização e aplicações. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8 (8), 1761-1776.

Micic, M.; Orbulescu, J.; Radotic, K.; Jeremic, M.; Sui, G.; Zheng, Y.; Leblanc, R., 2002. ZL-DHP lignin model compound at the air – water interface. *Biophysical Chemistry*, 99, 55-62.

Mishra, C., Leatham, G. F., 1990. Recovery and fractionation of the extracellular degradative enzymes from *Lentinula edodes* cultures cultivated in a solid lignocellulosic substrato. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 69 (1), 8-15.

Morais, M.H.; Ramos, A.C.; Matos, N., 2000. Cultivo del hongo shiitake (*Lentinula edodes*) em resíduos lignocelulósicos. *Food Science and Technology International*, 6 (2),123-128.

Ngai, P. H. K.; NG, T. B., 2003. Lentin, a novel and potent antifungal protein from shiitake mushroom with inhibitory effects on activity of human immunodeficiency virus-1 reverse transcriptase and proliferation of leukemia cells. *Life Sciences*, 73, 3363-3374.

Oei, P., 2003. *Manual on mushroom cultivation: techniques species and opportunities for commercial application in developing countries*. TOOL Publications, Amsterdam 274.

Ohga, S., 1992. Adaptability of *Lentinus edodes* strains to a sawdust-based cultivating procudere. *Mokuzai Gakkaishi*, 38 (3), 301-309.

Okano, K.; Iida, Y.; Samsuri, M.; Prasetya, B.; Usagawa, T.; Watanabe, T., 2006. Comparison of in vitro digestibility and chemical composition among sugarcane bagasses treated by four white-rot fungi. *Animal Science Journal*, 77, 308–313.

Pacumbaba, R. P.; Beyl, C. A.; Pacumbaba, R. O. Jr., 1999. Shiitake mycelial leachate supresses growth of some bacterial species and symptoms of bacterial wilt of tomato and lima bean in vitro. *Plant Disease*, 83 (1), 20-23.

Palacios-Orueta, A.; Chuvieco, E.; Parra, A.; Carmona-Moreno, C., 2005. Biomass burning emissions: a review of models using remote-sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 104, 189-209.

Pascholati, S. F.; Stangarlin, J. R.; Piccinin, E., 1998. Cogumelos: cultivo e

- comercialização (shiitake e cogumelo do sol). Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 85p. (coleção agroindústria, v.17).
- Pathak, R.; Joshi, N.; Dwivedi, R. R., 2009. Eco-friendly production of *Agaricus bisporus* (lange) imbach (white button mushroom). *Natural Sciences*, 6, 57–60.
- Pelizer, H. L.; Pontieri H. M.; Moraes O. I., 2007. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Technology Management & Innovation.*, 2 (1), 118-127.
- Pereira, E.; Barros, L.; Martins, A.; Ferreira, I. C. F. R., 2012. Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry*, 130, 394 - 403.
- Pérez, J.; Muñoz-Dourado, J.; de La Rubia, T.; Martínez, J., 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International Microbiology*, 5, 53–63.
- Philippoussis, A.; Diamantopoulou, P.; Papadopoulou, K.; Lakhtar, H.; Roussos, S.; Parissopoulos, G.; Papanikolaou, S., 2011. Biomass, laccase and endoglucanase production by *Lentinula edodes* during solid state fermentation of reed grass, bean stalks and wheat straw residues. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 27, 285–297.
- Pinheiro, V.D., 1999. Produção e caracterização parcial de xilanases de *Penicillium expansum*. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Poppe, J., 2000. Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. In: L. Van Griensven ed: *Proceedings 15th International Congress on Science and Cultivation of Edible Fungi*, Balkema Rotterdam, 3-23.
- Przybylowicz, P.; Donoghue, J., 1990. *Shiitake growers handbook – the art and science of mushroom cultivation*. New York: Kendall/Hunt Publishing Company, 217p.
- Rabinovich, M. L.; Bolobova, A. V.; Vasil’chenko, L. G., 2004. Fungal decomposition of natural aromatic structures and xenobiotics: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 40, 1–17.
- Revista do Programa Produtor Florestal da Aracruz Celulose, 2007. Produtor Florestal - ANO III – nº 12 – Janeiro/2007 – <http://www.aracruz.com.br>.
- Rinker, D. L., 2002. Handling and using “spent” mushroom substrate around the world. In: Sánchez JE, Huerta G, Montiel E (eds) *Mushroom biology and mushroom products*. Impresos Júpiter, Cuernavaca, pp 43–60.

Rosa, M. F.; Souza Filho, M S. M.; Figueiredo, M. C. B.; Morais, J. P. S.; Santaella, S.T., Leitão, R.C., 2011. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais - Palestras Valorização de Resíduos da Agroindústria. – II SIGERA, 15 a 17 de março de 2011 - Foz do Iguaçu, PR, Volume I.

Rouau, X.; Odier, E., 1986. Production of extracellular enzyme by the white-rot fungus *Dichomitus squalens* in cellulose-containing liquid culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 8, 22–26.

Roupas, P.; Keogh, J.; Noakes, M.; Margetts, C.; Taylor, P., 2010. Mushrooms and agaritine: amini-review. *Journal of Functional Foods*, 2, 91–98.

Rühl, M.; Fischer, Ch.; Kües, U., 2008. Lignolytic enzyme activities alternate with mushrooms production during industrial cultivation of *Pleurotus ostreatus* on wheat straw-based substrate. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 4, 478–492.

Sadler, M., 2003. Nutritional properties of edible fungi. *British Nutrition Foundation, Nutrition Bulletin*, 28, 305–308.

Safari Sinegani, A. A.; Emtiazi, G.; Hajrasuliha, S.; Shariatmadari, H., 2005. Biodegradation of some agricultural residues by fungi in agitated submerged cultures. *African Journal of Biotechnology*, 4 (10), 1058-1061.

Sánchez, C., 2004. Modern aspects of mushroom culture technology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64, 756–762.

Sánchez, C., 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27, 185–194.

Sánchez, C., 2010. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1321–1337.

Saparrat, M.C.N.; Guillén, F.; Arambarri, A.M., Martínez, A. T.; Martínez. M. J., 2002. Induction, isolation and characterization of two laccases from the white rot basidiomycete *Coriolopsis rigida*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (4), 1534-1540.

Sasaki, S. H., Linhares, R. E. C., Nozawa, C. M., Montalván, R., Paccola-Meirelles, L. D., 2001. Strains of *Lentinula edodes* suppress growth of phytopathogenic fungi and inhibit Alagoas serotype of vesicular stomatitis virus. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32 (1), 52-55.

Sharma, R. K.; Arora, D. S., 2010. Changes in biochemical constituents of paddy straw during degradation by white rot fungi and its impact on in vitro digestibility. *Journal of Applied Microbiology*, 109, 679–686.

Singh, P.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Peng, L. C., 2010. Biopulping of lignocellulosic material using different fungal species: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(2), 141-151.

- Souza, O., 1998. Tratamento de subprodutos e resíduos lignocelulósicos com uréia na alimentação de ruminantes. In. Congresso Nordestino de Produção Animal, 1., 1998, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Nordestina de Produção Animal, 195-213.
- Sturion, G. L., Ranzani, M. R. T. C., 2000. Composição em minerais de cogumelos comestíveis cultivados no Brasil - *Pleurotus* spp e outras espécies desidratadas. Archivos Latino Americano de Nutricion, 50 (1), 102-108.
- Takahashi, J. A.; Carvalho, S. A., 2010. Nutritional potential of biomass and metabolites from filamentous fungi. Current Research, 1126-1135.
- Takamura, K.; Hoshino, H.; Sugahera, T.; Amano, H., 1991. Determination of vitamin D<sub>2</sub> in shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) by high-performance liquid chromatography. Journal of Chromatografy, 545, 201-204.
- ten Have, R.; Teunissen, P. J. M., 2001. Oxidative mechanisms involved in lignin degradation by white-rot fungi. Chemical Reviews, 11:3397-414.
- Thurston, C.F., 1994. The structure and function of fungal laccases. Microbiology, 140, 19-26.
- Timofiecsyk, F. R.; Pawlowsky, U., 2000. Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão. B.CEPPA, 18 (2), 221-236.
- Tsuneda, A., 1994. Shiitake and other edible mushrooms cultivated in Japan: Production, Biology, and Breeding. Spices, Herbs and Edible Fungi, 685-727.
- Tsuneda, A., Thorn, G. G., 1994. Interactions between *Lentinula edodes* and pseudomonads. Canadian Journal of Microbiology, 40, 937-943.
- Vaz, J.A.; Heleno, S.A.; Martins, A.; Almeida, G.M.; Vasconcelos, M.H.; Ferreira, I.C.F.R., 2010. Wild mushrooms *Clitocybe alexandri* and *Lepista inversa*: In vitro antioxidant activity and growth inhibition of human tumour cell lines. Food Chemistry Toxicology, 48, 2881-2884.
- Vicuna, R., 2000. Ligninolysis. A very peculiar microbial process. Molecular Biotechnology, 14, 173-176.
- Waldrop, M. P.; Balsler, T. C.; Firestone, M. K., 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. Soil Biology & Biochemistry, 32, 1837-1846.
- Wasser, S. P., 2002. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. Applied Microbiology and Biotechnology, 60, 258-274.
- Wilkie, K. C.B., 1979. The hemicelluloses of grasses and cereals. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, 36, 215-264.
- Wood, T.M.; Garcia-Campayo, V., 1994. Enzymes and mechanisms involved in

microbial cellulolysis In: Ratledge, C. (Ed.). *Biochemistry of Microbial Degradation*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p 590.

Yamanaka, K., 1997. Production of cultivated edible mushrooms. *Food Research International*, 13 (3), 327-333.

Yang, X.W.; Ma, F.Y.; Zeng, Y.L.; Yu, H.B.; Xu, C.Y.; Zhang, X.Y., 2010b. Structure alteration of lignin in corn stover degraded by white-rot fungus *Irpex lacteus* CD2. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 64, 119-123.

Yang, X.W.; Zeng, Y.L.; Ma, F.Y.; Zhang, X.Y.; Yu, H.B., 2010a. Effect of biopretreatment on thermogravimetric and chemical characteristics of corn stover by different white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 101, 5475–5479.

Zadrazil, F.; Kamra, D. N.; Isikhuemhen, O. S.; Schuchardt, F.; Flachowsky, G., 1996. Bioconversion Of Lignocellulose into ruminant feed with white-rot fungi—review of work done at FAL, Braunschweig. *Journal of Applied Animal Research*,

Recebido em 27/08/2012 - Aprovado em 15/11/2012