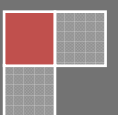


2009

# Mercado e Tecnologia de Enzimas – Análise de Grupos de Pesquisa no Brasil e Parcerias

André Landim  
Escola de Química - UFRJ  
Fevereiro de 2009



Março de 2009



# Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil

André Borges Landim

Monografia em Engenharia Química

Orientadora

Prof<sup>a</sup> Flávia Chaves Alves

Fevereiro de 2009

Março de 2009

## **Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil**

***André Borges Landim***

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

\_\_\_\_\_  
Suely Pereira Freitas, Prof<sup>a</sup> Adjunta/EQ

\_\_\_\_\_  
Diva Barrio Arrepia, Eng<sup>a</sup> Química

\_\_\_\_\_  
José Tadeu Diniz, Farmacêutico

Orientado por:

\_\_\_\_\_  
Flávia Chaves Alves , Prof<sup>a</sup> Adjunta/EQ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2009

Landim, André Borges

Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil / André Borges Landim. Rio de Janeiro: EQ/UFRJ, 2009

Xi, 65 p

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009

Orientador: Flávia Chaves Alves

1. Enzimas. 2. Grupos de Pesquisa. 3. Parcerias. 4. Mercado. 5. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 6. Flávia Chaves Alves. I. Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil.

Dedico este trabalho aos meus pais, Deise e Antônio Carlos, às minhas irmãs Adriana e Antônia, à minha avó Clotilde e à minha futura esposa Amanda. Estas são as pessoas mais importantes na minha vida e representam o motivo de todo o esforço e dedicação durante todo o curso.

“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos”

Lao-Tse

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais pelos anos de cuidado e amor incondicional despendido e por todo o incentivo e apoio nos momentos mais difíceis desta jornada solitária em busca do saber. Agradeço à minha irmã Adriana por toda a amizade, amor e incontáveis momentos de alegria proporcionados. Agradeço à minha avó por todos os anos de dedicação integral visando sempre o bem-estar de seus netos e minha irmã Antônia por representar um grande motivo para seguir em frente. Agradeço a meus amigos pela ajuda e pelos momentos de descontração durante todo esse período. Agradeço à minha noiva Amanda pelo companheirismo e pela confiança transmitida em todos os momentos, sem nunca duvidar de que nossos objetivos seriam atingidos.

Agradeço à minha orientadora Prof<sup>a</sup> Flávia Alves pela prontidão em colaborar e pelo direcionamento imprescindível necessário para conclusão deste trabalho. Agradeço especialmente à Prof<sup>a</sup> Suzana, que por cinco anos contribuiu grandemente para o desenvolvimento de muitas das minhas principais competências durante o período de iniciação científica na área de gestão e inovação tecnológica.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **ANÁLISE DE GRUPOS DE PESQUISA EM ENZIMAS NO BRASIL**

André Borges Landim

Orientador: Prof<sup>a</sup> Flávia Chaves Alves, Prof<sup>a</sup> Adjunta

Com a crescente importância do capital ambiental nas atividades produtivas a sustentabilidade tem sido amplamente discutida, reconhecendo-se a necessidade, em alguns casos, da substituição de processos químicos que utilizam matérias-primas não renováveis por processos bioquímicos que utilizem insumos renováveis. Desta forma, crescem as perspectivas de utilização de enzimas, em diferentes atividades produtivas. Enzimas são biocatalisadores utilizados em diferentes aplicações. Dentre os principais setores identificados para aplicação de enzimas industriais estão alimentos, papel e celulose, produção de biocombustíveis, detergentes e atividades envolvendo tratamento enzimático de produtos agrícolas. Para as enzimas especiais foram identificadas aplicações em fármacos, reações para diagnóstico, além de inúmeras linhas em pesquisa básica.

O desenvolvimento de tecnologias enzimáticas é estratégico para o Brasil, representando um dos itens de maior importância na atual política industrial. Para favorecer o desenvolvimento em biotecnologia, especialmente em tecnologia enzimática, uma estratégia em crescente aplicação consiste no estabelecimento de parcerias entre empresas e universidades. A criação de parcerias é importante para solucionar a questão dos elevados custos envolvidos em pesquisa e desenvolvimento.

Comparações entre os censos realizados pelo CNPq apontam para uma ampliação quantitativa e qualitativa deste tipo de relação, com crescente número de contratos para o desenvolvimento de atividades em conjunto além da ocorrência de atividades com resultados econômicos cada vez mais favoráveis. Entretanto dentre os 315 grupos de pesquisa identificados no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil apenas 16% possuem relações com o setor produtivo.

Apesar do reduzido tamanho do mercado brasileiro de enzimas em relação ao resto do mundo, observamos que a pesquisa desenvolvida pelas universidades e centros de pesquisa no país está alinhada às aplicações industriais existentes. Logo, apesar da contenção das ações empreendedoras devido às crises econômicas recentes, existem, ainda, inúmeras possibilidades para a criação de novos projetos envolvendo enzimas, devido ao grande mercado existente com variedade de aplicações, linhas de financiamento para a inovação tecnológica e, principalmente, devido ao conhecimento gerado pelos grupos de pesquisa no Brasil que pode vir a ser transformado em produtos pela iniciativa privada, aumentando a participação nacional neste grande mercado em crescimento, devendo atingir US\$ 3,7 bilhões até o final de 2009 em todo o mundo.



## ÍNDICE

Introdução .....	14
Objetivos.....	19
Capítulo 1 – Cenário para Tecnologia de Enzimas .....	20
1.1 – Estrutura e Nomenclatura de Enzimas .....	20
1.2 – Microorganismos e Manufatura .....	23
Capítulo 2 – Mercado Mundial e Regional de Enzimas .....	25
2.1 – Mercado Mundial .....	25
2.2 – Mercado Regional .....	27
2.3 – Comércio Exterior .....	29
2.4 – Estrutura Industrial e Participantes do Mercado.....	35
Capítulo 3 – Enzimas Industriais e suas Aplicações.....	44
3.1 – Mercado de Enzimas Industriais .....	44
3.2 – Enzimas Técnicas.....	46
3.2.1 – Enzimas na Indústria de Detergentes .....	48
3.2.2 – Enzimas na Indústria Têxtil.....	50
3.2.3 – Enzimas para Cosméticos e Cuidados Pessoal .....	51
3.2.4 – Enzimas no Processamento de Papel.....	51
3.2.5 – Enzimas para Produção de Álcool Combustível .....	53
3.3 – Enzimas para Alimentos.....	55
3.4 – Enzimas para Rações Animais .....	57
3.5 – Preços.....	58

---

Capítulo 4 – Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil .....	62
4.1 – Análise de Patentes.....	62
4.2 – Importância dos Grupos de Pesquisa .....	67
4.3 – Metodologia.....	68
4.4 – Resultados.....	71
4.4.1 – Grandes Áreas e Localização dos Grupos de Pesquisa .....	71
4.4.2 – Áreas de Atuação dos Grupos de Pesquisa.....	79
4.4.3 – Número de Pesquisadores por Grupo de Pesquisa .....	80
4.4.4 – Ano de Formação dos Grupos de Pesquisa.....	82
4.4.5 – Instituições de Localização dos Grupos de Pesquisa .....	87
4.4.6 – Análise das Linhas de Pesquisa .....	90
4.4.7 – Repercussões dos Grupos de Pesquisa .....	93
Capítulo 5 – Análise das Parcerias.....	94
5.1 – Relações de Grupos de Pesquisa com o Setor produtivo .....	94
5.2 – Resultados.....	96
5.2.1 – Análise das Instituições Parceiras .....	96
5.2.2 – Regiões de Origem das Instituições Parceiras .....	101
5.2.3 – Segmento Econômico das Instituições Parceiras.....	103
5.2.4 – Parcerias por Área e Setor de Atividade Econômica.....	105
5.2.5 – Relações Predominantes Existentes nas Parcerias .....	107
5.2.6 – Análise das Fontes de Recurso.....	109
Conclusões.....	112
Bibliografia.....	115

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações de Enzimas em Processos Químicos

Tabela 2 – Organismos para Produção de Enzimas Industriais

Tabela 3 – Demanda Mundial de Enzimas

Tabela 4 – Demanda de Enzimas nos EUA por Setor até 2015 (US\$ milhões)

Tabela 5 – Projeção de Demanda de Enzimas nos EUA

Tabela 6 – Comércio Exterior de Enzimas Industriais (Mercado Brasileiro 2008)

Tabela 7 – Market share para os Principais Produtores de Enzimas Industriais

Tabela 8 – Market share para os Principais Produtores de Enzimas Industriais por Setor de Mercado (%)

Tabela 9 – Maiores Produtores de Enzimas Industriais

Tabela 10 – Principais Companhias em Tecnologia Enzimática

Tabela 11 – Mercado Mundial de Enzimas Industriais

Tabela 12 – Mercado Regional de Enzima Celulase e Projeção até 2009

Tabela 13 – Fornecedores Mundiais de Enzimas para Polpa e Papel

Tabela 14 – Principais Produtores Mundiais de Enzimas Celulases para o Setor de Alimentos

Tabela 15 – Enzimas Endoglucanases Comerciais Aprovadas na UE para Rações Animais

Tabela 16 – Evolução no Depósito de Patentes

Tabela 17 – Patentes em Enzimas Depositadas em 2009

Tabela 18 – Distribuição Percentual dos Grupos de Pesquisa no Brasil por Região 1993/2006

Tabela 19 – Evolução na Formação dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia

Tabela 20 - Instituições que Abrigam Grupos de Pesquisa em Enzimas

Tabela 21 – Instituições Envolvidas em Parcerias com os Grupos de Pesquisa em Enzimas

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Número de Patentes por País Depositante

Gráfico 2 – Número de Patentes por Tipo de Depositante

Gráfico 3 – Grandes Áreas dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia

Gráfico 4 – Grupos de Pesquisa em Biotecnologia por Região

Gráfico 5 – Grupos de Pesquisa em Biotecnologia por Estado

Gráfico 6 – Grande Áreas dos Grupos de Pesquisa em Enzimas

Gráfico 7 – Grupos de Pesquisa em Enzimas por Região

Gráfico 8 – Grupos de Pesquisa em Enzimas por Estado

Gráfico 9 – Distribuição dos Grupos de Pesquisa em Enzimas por Área de Atuação

Gráfico 10 – Número de Pesquisadores por Grupo de Pesquisa

Gráfico 11 – Evolução Anual da Formação dos Grupos de Pesquisa em Enzimas

Gráfico 12 – Frequência de Formação de Grupos De Pesquisa em Enzimas na Área de Engenharia Química

Gráfico 13 – Frequência de Formação de Grupos De Pesquisa em Enzimas na Área de Alimentos

Gráfico 14 – Frequência de Formação de Grupos De Pesquisa em Enzimas na Área de Agronomia

Gráfico 15 – Frequência de Formação de Grupos De Pesquisa em Enzimas na Área de Bioquímica

Gráfico 16 – Tipo de Instituição de Localização dos Grupos de Pesquisa em Enzimas

Gráfico 17 – Distribuição Percentual dos Grupos de Pesquisa por Instituição

Gráfico 18 – Distribuição de Frequência do Número de Linhas de Pesquisa por Grupo

Gráfico 19 – Distribuição Percentual dos Grupos de Pesquisa com Relações com o Setor Produtivo

Gráfico 20 – Distribuição Percentual do Tipo de Instituição Envolvida em Parceria

Gráfico 21 – Distribuição Percentual das Regiões de Origem das Instituições Parceiras

Gráfico 22 – Número de Instituições Parceiras por Estado de Origem

Gráfico 23 – Distribuição Percentual das Instituições Parceiras por Segmento Econômico

Gráfico 24 – Distribuição Percentual das Instituições Parceiras por Setor de Atividade Econômico

Gráfico 25 – Distribuição das Parcerias Identificadas por Área do Conhecimento

Gráfico 26 – Distribuição Percentual dos Tipos de Relações Predominantes Existentes nas Parcerias

Gráfico 27 – Distribuição Percentual das Fontes de Recurso Envolvidas nas Parcerias

## Introdução

Com a crescente importância do capital ambiental nas atividades produtivas a sustentabilidade tem sido amplamente discutida, reconhecendo-se a necessidade, em alguns casos, da substituição de processos químicos que utilizam matérias-primas não renováveis por processos bioquímicos que utilizem insumos renováveis. Desta forma, crescem as perspectivas de utilização de enzimas em diferentes atividades produtivas.

Outro aspecto relevante consiste no consumo energético dos processos industriais. Em muitos casos, para tornar muitos processos químicos mais eficientes, com menor gasto energético e diminuição do número de etapas envolvidas, os processos biotecnológicos mostram-se mais eficientes. Muitas destas novas tecnologias estão sendo utilizadas por um número crescente de indústrias, seja devido ao menor impacto ambiental envolvido ou devido à maior qualidade dos produtos resultantes.

Devido à biodiversidade existente no Brasil, além do grande potencial para produção de matérias-primas renováveis fica evidente a necessidade do avanço em relação às Tecnologias Enzimáticas, as quais estão presentes em processos biotecnológicos de grande importância para o país, considerados estratégicos e que podem colocar o Brasil em posição de destaque no cenário internacional.

O desenvolvimento das Tecnologias enzimáticas é importante, pois possibilita a produção biotecnológica de produtos de alto valor agregado, além de estar presente em diversos setores da economia como alimentos, têxtil, farmacêutico e etc.

As enzimas estão presentes em todos os seres vivos, sendo biocatalisadores utilizados naturalmente para aumentar a velocidade dos processos. Como uma alternativa para alguns processos químicos na manufatura de produtos, as enzimas oferecem uma rota biológica, representando frequentemente uma solução ambientalmente mais adequada para a indústria. Enzimas eco-eficientes consomem menores quantidades de água, matérias-primas e energia.

Com os avanços na genética, a biotecnologia industrial está modificando a biocatálise para o desenvolvimento de enzimas com mais atributos técnicos em relação às enzimas naturais, o que favorece o maior rendimento de produtos por exemplo.

A tabela 1 a seguir apresenta alguns exemplos de enzimas utilizadas para substituir determinados processos químicos.

Tabela 1 - Aplicações de Enzimas em Processos Químicos

<b>Segmento</b>	<b>Enzimas</b>	<b>Produtos Químicos</b>	<b>Processo</b>
<b>Industrial</b>		<b>Substituídos</b>	<b>Substituído</b>
Detergentes	Celulases, Lipases, Proteases, Amilases	Fosfatos, Silicatos, Surfactantes	Altas Temperaturas, Reduções Energéticas
Têxteis	Celulases, Catalases, Amilases	Ácidos, Álcalis, Agentes Oxidantes e Redutores	Redução Energética, Redução de Maquiaria
Processamento de Amido	Amilases, Pululanases, Glicose Isomerase	Ácidos	Elevadas Temperaturas
Couro	Proteases, Lipases	Surfactantes	Menores Níveis de Fosfatos no Efluente
Aditivos para Rações	Celulases, Proteases, Xilanases, fitases	Compostos Fosforados	Maior Recuperação de Prata
Recuperação de Prata em Filmes	Proteases		

Fonte: Consultoria SRI, 2003

Diante da diversidade de aplicações apresentadas, as enzimas industriais ocupam uma posição de destaque nos processos biotecnológicos, sendo estratégicas do ponto de vista econômico e científico.

Com a ascensão dos biocombustíveis, o papel central das enzimas nos processos biotecnológicos fica ainda mais evidente. Apesar do surgimento de novas tecnologias para produção de biodiesel, a utilização de enzimas lipases nos processos de transesterificação de óleos vegetais traria benefícios ambientais e maior qualidade de produtos e subprodutos, como a glicerina de grau farmacêutico.

Em relação à produção de bioetanol, as enzimas celulases são fundamentais para realizar o tratamento da biomassa lignocelulósica, utilizada alternativamente em relação às matérias sacaríneas e amiláceas. O desenvolvimento de processos inovadores que utilizem soluções tecnológicas eficientes é extremamente importante para a sustentabilidade.

Diante deste cenário, e devido à grande dependência do conhecimento para o processo de inovação, temos observado um reposicionamento do papel desempenhado pelas universidades, que passaram a fornecer conhecimento imprescindível para o desenvolvimento de determinados setores industriais, principalmente em relação à biotecnologia, além da formação de recursos humanos.

Com o novo papel da informação e do conhecimento nas economias e no processo produtivo, o desempenho dos sistemas de inovação está fortemente associado à intensidade e produtividade de interações entre os diferentes atores envolvidos na geração e difusão de novos conhecimentos e novas tecnologias. Para tanto, devemos analisar o papel de cada uma das instituições envolvidas: Universidades e centros de pesquisa, empresas e governo.

As recentes crises econômicas afetam grandemente as empresas de base tecnológica devido ao crescente custo da pesquisa associada ao desenvolvimento de processos e produtos, indispensáveis para a garantia de vantagens competitivas e bom posicionamento no mercado.



Uma evidência clara da busca pela redução de custos em pesquisa é a ocorrência de fusões e aquisições de companhias como laboratórios farmacêuticos, grandes investidores em biotecnologia.

Uma estratégia em crescente aplicação para solucionar os elevados custos de pesquisas em diversos setores consiste no estabelecimento de parcerias entre empresas e universidades. Comparações entre os censos realizados pelo CNPq apontam para uma ampliação quantitativa e qualitativa deste tipo de relação, com crescente número de contratos para o desenvolvimento de atividades em conjunto além da ocorrência de atividades com resultados econômicos cada vez mais favoráveis. (Righi, 2007)

As ações empreendedoras em biotecnologia são particularmente favorecidas com a adoção das parcerias. Em relação às enzimas, existe a possibilidade de se utilizar o conhecimento gerado na universidade com o desenvolvimento de tecnologias para produção em escala destes produtos por parte das empresas, uma vez que apresentam diversidade e crescimento de aplicações além de elevado potencial de mercado.

No Brasil, devido à escassez de recursos privados para investimento em pesquisa e desenvolvimento as parcerias com universidades são especialmente úteis para a redução de riscos e custos associados às pesquisas, além de favorecer a introdução de inovações com a redução do tempo entre obtenção de resultados com a pesquisa básica desenvolvida nas universidades e suas aplicações.

Apesar da maior liberdade existente na busca pelo conhecimento nas universidades, estas instituições têm sido cada vez mais imbuídas a orientar seus esforços de pesquisa a serviço do aumento da competitividade da indústria nacional e crescimento econômico.

Além da diversificação das fontes de financiamento para a pesquisa através de recursos públicos e oriundos do setor privado em função do elevado potencial de aplicação dos resultados na produção, existe a necessidade da legitimação do trabalho desenvolvido nas universidades junto à sociedade.

O desenvolvimento da tecnologia em enzimas é estratégico para o Brasil e representa oportunidades para a criação de novos negócios por parte das empresas do setor de biotecnologia. Um aspecto fundamental no contexto apresentado é a identificação dos grupos de pesquisa no país que realizam atividades de pesquisa e desenvolvimento em enzimas e o entendimento da dinâmica existente em termos de linhas de pesquisa, localização geográfica e existência de parcerias com o setor privado, dentre outras variáveis importantes. O Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, do CNPq, disponibiliza informações acerca das universidades e centros de pesquisa, detalhando dados importantes para que os gestores em biotecnologia identifiquem parceiros potenciais.

## Objetivos

Este estudo tem como objetivo a contextualização e apresentação de um cenário abrangente envolvendo diversos aspectos relacionados às enzimas, com especial atenção aos grupos de pesquisa existentes no Brasil relacionados a este assunto, com o intuito de auxiliar a tomada de decisões de gestores em biotecnologia e o desenvolvimento de novos negócios através da identificação de parceiros potenciais.

Para tanto, foi realizado o mapeamento do mercado de enzimas industriais com foco em enzimas celulases, muito importantes devido à ascensão dos biocombustíveis, através da identificação do histórico do setor, principais companhias envolvidas, mercados e aplicações dos biocatalisadores. Com isso, pretende-se obter as tendências de mercado para enzimas industriais.

Em seguida apresentamos a Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas no Brasil. O objetivo desta etapa do trabalho consiste na criação de um banco de dados contendo todas as informações necessárias para a identificação e tendências para a pesquisa em enzimas no país, com identificação das principais instituições envolvidas, classificação das linhas de pesquisa existentes e identificação das relações existentes entre grupos de pesquisa e o setor produtivo.

A última parte do trabalho examina a interação dos grupos de pesquisa do CNPq com instituições, por tipos de relacionamento e grande área do conhecimento, além de explorar particularidades de articulações entre área do conhecimento e setor de atividade.

Estas análises permitirão a criação de mapas de conhecimento em pesquisa enzimática, possibilitando a identificação de parcerias estratégicas potenciais e monitoramento das atividades dos atores envolvidos.

## Capítulo 1 – Tecnologia de Enzimas

### 1.1 – Estrutura e Nomenclatura de Enzimas

As enzimas, sendo proteínas, possuem uma estrutura primária (seqüência de aminoácidos que constituem a proteína), estrutura secundária (alfa-hélice ou folha beta-pregueada), e estrutura terciária (configuração dos domínios de proteínas). Além disso, algumas proteínas possuem mais de uma cadeia polipeptídica; esta estrutura complexa é conhecida como estrutura quaternária. A estrutura de uma enzima é a razão da especificidade da reação catalisada.

Enzimas possuem comumente dois nomes; um recomendado (análogo ao nome trivial em química), e um nome sistemático mais preciso. As enzimas são divididas em seis grandes classes:

- ✚ **Oxidoredutases** – Todas as enzimas que catalisam reações redox. Esta classe inclui as desidrogenases, oxidases, oxigenases e peroxidases. O nome sistemático é formado utilizando (doador)(aceptor) oxiredutase.
- ✚ **Transferases** – Enzimas que catalisam a transferência de um grupo químico específico de um substrato para outro. O nome recomendado é, normalmente, (doador)(aceptor) (grupo) transferase. Exemplos incluem a ATP-Glicose-Fosfo-Transferase.
- ✚ **Liases** – Estas enzimas catalisam a quebra de ligações por eliminação. O nome recomendado é , por exemplo, aldolase, decarboxilase, etc. O nome sistemático é da forma (substrato)(grupo)liase. Esta classe inclui as aldolases, decarboxilases, desidratases e algumas pectinases.
- ✚ **Isomerases** – Estas enzimas catalisam isomerização geométrica ou estrutural do substrato. O nome recomendado inclui o tipo de isomerização; (racemase, epimerase, tautomerase, mutase). Exemplos incluem a xilose isomerase (glucose isomerase).

- ✚ **Ligases (Sintetases)** – Catalisam a junção de moléculas, com a hidrólise de uma ligação pirofosfato no ATP ou outro nucleosídeo trifosfato. Os nomes recomendados são da forma X – Y ligase, onde X e Y são os substratos.
- ✚ **Hidrolases** – Estas catalisam a hidrólise de uma reação química. O Nome recomendado é o nome do substrato seguido do sufixo *-ase*. O nome sistemático sempre incluirá hidrolase.

As enzimas podem ser classificadas em industriais e especiais. O tipo de aplicação indica a classe de inserção. Enzimas utilizadas para produção de rações animais, biocombustíveis, degradação de biomassa, tratamento de papel e polpa, dentre outras são classificadas como Industriais. Enzimas utilizadas em aplicações terapêuticas, analíticas e química fina, como reações para diagnóstico e química quiral, fundamental para a indústria farmacêutica, são classificadas como Especiais. (Estratégia Nacional de Biotecnologia, 2006)

Enzimas especiais possuem elevado custo unitário, são requeridas em quantidades relativamente pequenas e devem apresentar elevado grau de pureza e especificidade, de modo a apresentar elevada eficiência mesmo em baixas concentrações. As enzimas industriais são utilizadas em maiores quantidades e o grau de pureza necessário dependerá fortemente da aplicação desejada. (Enzimas em Biotecnologia, 2008)

As enzimas industriais de maior importância pertencem a classe das hidrolases. Esta classe inclui as proteases, lípases, peptidases, glicosidases, esterases, pectinases, além das celulases. (Consultoria SRI, 2003)

Celulase é o termo dado a uma mistura de proteínas capazes de degradar a celulose, substância presente na matéria-prima utilizada em diversos setores da Indústria Química. A celulose consiste em cadeias lineares de beta-1,4-unidades de glucose ligadas. As cadeias, por sua vez, estão dispostas em unidades paralelas de 40-60 cadeias, conhecida como microfibrilas. O grau de polimerização da celulose varia de acordo com a origem. A celulose constitui cerca de 35-50% da biomassa de plantas,

sendo o maior componente das fibras derivadas de vegetais como o algodão e linho. (Y.H. Percival Zhang M. E., 2006)

Devido à capacidade de degradação, a enzima celulase possui inúmeras aplicações, podendo ser utilizada, por exemplo, nos setores de alimentos e na indústria de detergentes, onde atua na remoção de microfibrilas que podem se projetar para fora do tecido, fazendo com que estes mantenham sua integridade e seu aspecto de novo. (The Business Communications Company , 2006)

As enzimas celulasas compreendem três diferentes tipos de enzimas, com as proporções variando de acordo com sua origem, com as seguintes funções:

- ✚ **Endoglucanases** – Atacam as regiões amorfas da celulose para clivagem das cadeias de celulose, produzindo mais grupos terminais e menores cadeias de celulose.
- ✚ **Exoglucanases** – Realizam a clivagem das cadeias de celulose em seus grupos terminais para liberação de celubiose.
- ✚ **Beta-glicosidases** – As glicosidases hidrolisam celubiose para formação de glucose. A celubiose é um açúcar não fermentável.

## 1.2 – Microorganismos e Manufatura

As enzimas são produzidas por células, baseadas na informação genética. Enzimas industriais são tipicamente produzidas por processos fermentativos e extrativos, sendo os microrganismos como fungos, bactérias e actinomicetos a principal fonte de obtenção, embora muitas enzimas de aplicação industrial tenham sua origem nos tecidos animal ou vegetal: renina, obtida do estômago de bezerros e papaína, obtida do mamão, por exemplo. (M.K. BHAT, 1997)

A grande maioria das enzimas é produzida atualmente por fermentação submersa utilizando bactérias, fungos e leveduras. Em muitos casos, a fermentação ocorre em bateladas utilizando uma fonte de carbono como a glicose ou hidrolisados de amido, no qual ocorre o crescimento dos fungos, leveduras ou bactérias. (Consultoria SRI 2003)

As bactérias fornecem menores rendimentos de enzimas, contudo produzem mais rapidamente, possuindo então períodos mais curtos de bateladas. Os fungos por sua vez fornecem maiores rendimentos, mas produzem mais lentamente em relação às bactérias, possuindo maiores períodos de bateladas, o que representa menor produtividade fermentativa.

A tabela 2 apresenta as espécies mais comuns de microrganismos utilizados para a produção de enzimas industriais.

Tabela 2 - Organismos para Produção de Enzimas Industriais

<b>Fungos</b>	<b>Bactérias</b>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Aspergillus oryzae</i> Recombinante	<i>Bacillus subtilis</i> Recombinante
Outros <i>Aspergillus</i>	Outros <i>Bacillus spp.</i>
<i>Humicola insolens</i>	<i>Klebsiella spp.</i>
<i>Penicilium spp.</i>	<i>Streptomyces spp.</i>
<i>Rizhopus spp.</i>	
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	
<i>Trichoderma spp.</i>	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da BRENDA database (2007)

As enzimas são bastante atrativas comercialmente devido a certas propriedades:

- ✚ Especificidade – Reagem com uma gama de substratos
- ✚ Seletividade – Formam inúmeros produtos
- ✚ Regioseletividade – Seu sítio ativo irá reagir apenas em determinadas partes da molécula
- ✚ Estereoespecificidade – Preferência para certos isômeros de uma molécula

As enzimas não são afetadas pelas reações, podendo continuar catalisando uma reação enquanto os reagentes apropriados estiverem disponíveis. Como são proteínas, as enzimas tornam-se inativas a temperaturas em torno de 55°C, ou em condições desfavoráveis de acidez ou alcalinidade.

Como as enzimas são sensíveis à temperatura, os processos enzimáticos possuem muitas vantagens em relação aos processos químicos convencionais em relação ao custo de utilidades, uma vez que muitos dos processos químicos operam com a elevadas temperaturas e pressões. Os processos enzimáticos, no entanto, são realizados em condições mais brandas, contudo o custo das enzimas é elevado.



## Capítulo 2 – Mercado Mundial e Regional de Enzimas

### 2.1 – Mercado Mundial

O mercado mundial de enzimas é dividido em enzimas industriais e enzimas especiais. A demanda mundial de enzimas tem crescimento estimado de 6,5% até o ano de 2009. A estimativa para 2009 é que o mercado mundial de enzimas atinja US\$ 3,7 bilhões. (The Business Communications Company , 2006)

A taxa de crescimento do mercado de enzimas industriais (5,7%) é menor que a taxa de crescimento do mercado total de enzimas (6,5%), o que indica um grande crescimento do mercado de enzimas especiais. (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006)

Já o mercado de Enzimas Especiais tende a ultrapassar o mercado de Enzimas Industriais em valor, embora este último para rações animais apresente o maior crescimento.

A tabela 3 apresenta a demanda mundial total de enzimas por região e projeções até 2009. Os valores consideram as enzimas industriais e enzimas especiais.

Tabela 3 - Demanda Mundial de Enzimas (US\$ milhões)

<b>Região</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>2009</b>
Mundo	2670	3700	5080
América do Norte	1140	1600	2155
Europa Ocidental	845	1090	1370
Ásia Pacífica	435	640	1020
Outros	250	370	535

Fonte: (Freedonia Group, 2005)

Em todas as regiões do mundo as projeções indicam um maior crescimento na demanda por enzimas no período compreendido entre 2004 e 2009 em relação ao período entre 1999 e 2004.

Atualmente a demanda global de enzimas é conduzida pelo crescimento robusto e continuado em biocatalisadores para o setor farmacêutico e de química fina, além da rápida expansão na produção do bioetanol a partir de grãos e matéria-prima celulósica. A demanda global por enzimas deve apresentar crescimento anual de 7.6% até 2011, atingindo US\$ 6,0 bilhões. (World Enzymes, 2009)

O crescimento o mais rápido ocorrerá na região da Ásia Pacífica devido ao aumento da renda per capita que leva a um maior consumo de produtos cuja manufatura utilize enzimas. O mercado de enzimas na América do Norte e Europa Ocidental terão crescimento devido ao bom desempenho da Ásia. Um crescimento adicional será contido pela pressão por preços mais baixos na maioria dos setores de aplicação de enzimas, embora a introdução de enzimas mais eficientes com preços elevados impulse os valores médios de preço unitário.

Entre as enzimas industriais, o crescimento da maturidade do mercado na América do Norte e Europa, assim como doenças aviárias e da carne de porco na região da Ásia Pacífica devem conter os avanços na demanda de enzimas para ração animal, aproximando à média global de demanda por enzimas. Similarmente, a demanda por enzimas para alimentos e bebidas deve, igualmente, conter o crescimento, aproximando à média global. Entretanto, o surgimento de novas aplicações e a rápida expansão na região da Ásia Pacífica deve assegurar que o crescimento permaneça forte. Em relação a outros mercados, os ganhos serão consistentes nas áreas de diagnósticos e pesquisa em biotecnologia, enquanto que a maturidade de produtos de limpeza, matérias têxteis e couro torna os avanços mais lentos.

Com relação às enzimas especiais, ganhos rápidos continuados em neuromoduladores com base em toxina botulínica e drogas para terapia de reposição de enzimas (ERT) irão impulsionar o segmento farmacêutico.

A importância dos produtos químicos biológico-derivados ficará aparente no mercado de biocatalisadores à medida que as companhias químicas e farmacêuticas utilizem cada vez mais estas enzimas poderosas para substituir catalisadores contendo metais preciosos de alto custo com o aperfeiçoamento da produção de especialidades e outros produtos de química fina.

As carbohidrases terão os maiores ganhos de demanda por enzima, baseados na força de seu uso em fármacos, alimentos e bebidas, e produção de etanol. O mais rápido crescimento será observado nas lípases, devido aos rápidos ganhos na demanda de enzima como biocatalisador, assim como o crescimento da utilização de enzimas para o processamento de sementes de oleaginosas e a transesterificação de gorduras para o setor de alimentos e bebidas. A demanda por polimerases e nucleases será alta, mas tende a permanecer dentro da média global uma vez que a intensa competição no mercado continua a impactar os preços. Os avanços na demanda por proteases devem igualmente permanecer de acordo com a média global, retidos pela maturidade da enzima em mercados chave. (World Enzymes 2009)

## 2.2 – Mercado Regional

A demanda de enzimas nos Estados Unidos, maior consumidor mundial, com 38% do consumo mundial, que foi de US\$ 1,6 bilhões em 2005, é estimada em US\$ 2.2 bilhões em 2010, com crescimento anual de 6,9% (Freedonia Group). Este crescimento é baseado principalmente em fortes ganhos em mercados chave como o de rações para animais, biocatalisadores, farmacêuticos e processamento de amido. O mercado de enzimas para farmacêuticos<sup>1</sup> permanecerá como maior mercado e também um dos que possui mais rápido crescimento. O crescimento mais rápido ocorrerá no setor de aditivos para rações animais, dirigido principalmente pela enzima fitase.

---

<sup>1</sup> Estimativas indicam um crescimento de cerca de 10-12% no mercado de enzimas para o setor farmacêutico.

A tabela 4 apresenta a demanda de enzimas por setor nos EUA e suas projeções até 2015.

Tabela 4 - Demanda de Enzimas nos EUA por Setor até 2015 (US\$ milhões)

Setor	Ano		
	2005	2010	2015
Farmacêutico	443	705	1,050
Processamento de Amido	243	340	410
Alimentos e Bebidas	214	262	320
Pesquisa e Biotecnologia	205	270	355
Detergentes	150	170	195
Diagnóstico	125	165	215
Rações Animais	65	110	170
Outros	160	218	305
<b>Total</b>	<b>1,605</b>	<b>2,240</b>	<b>3,020</b>

Fonte: Freedonia Group, 2005

Os produtores de detergentes, de rações animais, as companhias farmacêuticas e de cosméticos devem aumentar as compras de enzimas diversas, com crescimento anual de 6,5% até 2009 devido principalmente à descoberta de novas aplicações para as enzimas nos setores. (Freedonia Group, 2005)

A tabela 5 apresenta a projeção de demanda de enzimas nos EUA, assim como a evolução do preço médio. Pode-se observar que os ganhos projetados em termos de valor são proporcionalmente maiores que o aumento em volume. A demanda crescente aliada ao fornecimento estável tende a fazer com que o preço médio das enzimas aumente. (Hannon, 2006).

Tabela 5 - Projeção de Demanda de Enzimas nos EUA

<b>Ano</b>	<b>Demanda de Enzimas nos EUA (milhões Kg)</b>	<b>Preço Médio (US\$/Kg)</b>
2005	115	6,42
2010	131	7,86
2015	150	9,29

Fonte: (Freedonia Group, 2005)

Historicamente, a demanda por enzimas tem se concentrado nas economias mais desenvolvidas devido ao elevado valor de capital além dos recursos técnicos envolvidos para o desenvolvimento, produção e descoberta de novas aplicações. Apesar disto, as melhores oportunidades no mercado de enzimas serão oferecidas por países em desenvolvimento como a China, Índia, Coreia do Sul e Taiwan. (Consultoria SRI, 2003)

### 2.3 – Comércio Exterior

A análise de comércio exterior é essencial na identificação das tendências mercadológicas dos produtos relacionados. Para a realização das análises de comércio exterior foram investigadas as NCM – Nomenclatura comum do Mercosul correspondentes às enzimas comercializadas no Brasil. Como existe grande dificuldade em quantificar o mercado brasileiro de enzimas, a análise de comércio exterior fornece uma indicação quantitativa acerca do mercado no país. A seguir, são apresentadas as enzimas e produtos relacionados comercializados no Brasil.

#### Capítulo 30 – Produtos Farmacêuticos

- 3002.10.32 – Plasmina
- 3002.10.33 – Uroquinase
- 3002.90.10 – Reagentes de origem microbiana para diagnóstico
- 3003.90.21 – Medicamento contendo estreptoquinase, exceto em doses
- 3003.90.22 – Medicamento contendo L-asparaginase, exceto em doses

- 3003.90.23 – Medicamento contendo desoxirribonuclease, exceto em doses
- 3003.90.29 – Medicamento contendo outras enzimas, mas não contendo vitaminas, exceto em doses
- 3004.90.11 – Medicamento contendo estreptoquinase, em doses
- 3004.90.12 - Medicamento contendo L-asparaginase, em doses
- 3004.90.13 – Medicamento contendo desoxirribonuclease, em doses
- 3004.90.19 – Medicamento contendo outras enzimas, em doses

Capítulo 32 – Extratos tanantes e tintoriais; taninos e seus derivados; pigmentos e outras matérias corantes; tintas e vernizes; mástiques; tintas de escrever:

- 3202.90.30 – Preparações enzimáticas para pré-curtimento

Capítulo 35 – Matérias albuminóides; produtos a base de amido ou de féculas modificadas; colas; enzimas:

- 3507.10.00 – Coalho e seus concentrados
- 3507.90.11 – Alfa amilase
- 3507.90.19 – Outras amilases e seus concentrados
- 3507.90.20 – Proteases e seus concentrados
- 3507.90.21 – Fibronucleases
- 3507.90.22 – Bromelinas
- 3507.90.23 – Estreptoquinase
- 3507.90.24 – Estreptodornase
- 3507.90.25 – Mistura de esterptoquinase e estreptodornase
- 3507.90.26 – Papaína
- 3507.90.29 – Outras proteases e seus concentrados
- 3507.90.30 – Outras enzimas e seus concentrados
- 3507.90.31 – Lisozima e seu cloridrato
- 3507.90.32 – L-asparaginase
- 3507.90.39 – Outras enzimas e seus concentrados
- 3507.90.40 – Enzimas preparadas

Março de 2009

- 3507.90.41 – A base de celulasas
- 3507.90.42 – A base de transglutaminase
- 3507.90.49 – Outras enzimas preparadas

## Capítulo 38 – Produtos diversos das indústrias químicas

- 3822.00.10 – Reagentes para determinação de componentes de sangue / urina, suporte, papel, etc.
- 3822.00.90 – Outros reagentes de diagnóstico ou de laboratório

Como abordado anteriormente, as enzimas podem ser divididas em duas classes principais de acordo com sua aplicação: Enzimas Industriais e Enzimas Especiais. A tabela 6 apresenta o volume e valor de importação e exportação brasileiras dos produtos com NCM listados anteriormente, assim como o valor médio em cada um dos casos para o ano de 2008.

Tabela 6 – Importação e exportação de enzimas no Brasil em 2008.

NCM - Enzimas	Importação			Exportação		
	Valor FOB (US\$)	Peso Líquido (Kg)	Valor Médio (US\$/Kg)	Valor FOB (US\$)	Peso Líquido (Kg)	Valor Médio (US\$/Kg)
Enzimas Industriais						
3202.90.30 – Preparações enzimáticas para pré-curtimento	262.857	169.659	1,55	1.033.432	914.846	1,13
3507.10.00 – Coalho e seus concentrados	13.449	60	224,15	710.005	155.052	4,58
3507.90.11 – Alfa amilase	1.054.016	89.333	11,80	106.210	37.745	2,81
3507.90.19 – Outras amilases e seus concentrados	4.288.021	628.998	6,82	5.454.264	261.907	20,83
3507.90.22 – Bromelina	22.181	486	45,64	Não houve exportação		

Análise de Grupos de Pesquisa no Brasil - Enzimas

Março de 2009

3507.90.29 – Outras proteases e seus concentrados	3.266.513	234.046	13,96	13.024.401	1.512.124	8,61
3507.90.39 – Outras enzimas e seus concentrados	16.810.648	1.389.628	12,10	2.496.749	445.899	5,60
3507.90.41 – A base de celulases	931.410	171.745	5,42	425.797	44.175	9,64
3507.90.42 – A base de transglutaminase	496.324	11.728	42,32	47.505	930	51,08
3507.90.49 – Outras enzimas preparadas	38.685.778	3.910.666	9,89	5.738.177	885.177	6,48
<b>Total</b>	<b>65.831.197</b>	<b>6.606.349</b>	-	<b>29.036.540</b>	<b>4.257.855</b>	-

Enzimas Especiais

3002.10.32 – Plasmina	55.440	6	9240,00	Não houve exportação		
3002.10.33 – Uroquinase	Não houve importação			Não houve exportação		
3002.90.10 – Reagentes de origem microbiana para diagnóstico	8.775.118	42.215	207,87	233.974	2.643	88,53
3003.90.21 – Medicamento contendo estreptoquinase, exceto em doses	13.850	2	6925,00	Não houve exportação		
3003.90.22 – Medicamento contendo L-asparaginase, exceto em doses	Não houve importação			Não houve exportação		
3003.90.23 – Medicamento contendo desoxirribonuclease, exceto em doses	Não houve importação			Não houve exportação		
3003.90.29 – Medicamento contendo outras enzimas, mas não contendo vitaminas, exceto em doses	9.450.920	270	35003,41	1.336.484	3.229	413,90



Análise de Grupos de Pesquisa no Brasil - Enzimas

Março de 2009

3004.90.11 – Medicamento contendo estreptoquinase, em doses	4.076.088	1.331	3062,43	43.426	33	1315,94
3004.90.12 - Medicamento contendo L-asparaginase, em doses	273.274	206	1326,57	Não houve exportação		
3004.90.13 – Medicamento contendo desoxirribonuclease, em doses	14.008.326	1.586	8832,49	Não houve exportação		
3004.90.19 – Medicamento contendo outras enzimas, em doses	139.111.097	44.413	3132,22	3.388.652	50.375	67,27
3507.90.21 – Fibronucleases	1.947.049	98	19867,85	Não houve exportação		
3507.90.23 – Estreptoquinase	61	0,5	122,00	Não houve exportação		
3507.90.24 – Estreptodornase	Não houve importação			Não houve exportação		
3507.90.25 – Mistura de estreptoquinase e estreptodornase	Não houve importação			Não houve exportação		
3507.90.26 – Papaína	343.369	33.921	10,12	24.301	2.033	11,95
3507.90.31 – Lisozima e seu cloridrato	107.568	791	135,99	Não houve exportação		
3507.90.32 – L-asparaginase	24.503	400	61,26	Não houve exportação		
3822.00.10 – Reagentes para determinação de componentes de sangue / urina, suporte, papel, etc.	4.265.827	51.084	83,51	153.144	5.794	26,43
3822.00.90 – Outros reagentes de diagnóstico ou de laboratório	214.654.778	3.867.953	55,50	874.573	794.852	1,10

## Análise de Grupos de Pesquisa no Brasil - Enzimas

Março de 2009

<b>Total</b>	<b>182.452.490</b>	<b>176.324</b>	-	<b>5.179.981</b>	<b>64.107</b>	-
--------------	--------------------	----------------	---	------------------	---------------	---

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da SECEX

Podemos observar que as importações superam as exportações tanto em valor como em quantidade. Entretanto, existe uma grande diferença especialmente no que se refere a importações e exportações de enzimas especiais. Isso ocorre devido ao elevado custo de produção das enzimas especiais, envolvendo processos sofisticados de purificação, o que reflete diretamente no preço de venda. Outro fator importante a ser considerado são as quantidades comercializadas. As enzimas industriais são geralmente negociadas em maiores quantidades, enquanto as enzimas especiais são comercializadas em quantidades relativamente pequenas. (Enzimas em Biotecnologia, 2008)

Outro aspecto relevante é a diferença existente entre os valores médios de importação e exportação. Observa-se que os valores médios de importação, na grande maioria dos casos, são maiores que os valores médios de exportação mesmo em NCM iguais. Uma possível explicação para a disparidade observada é a diferença em relação ao grau de pureza dos produtos. O Brasil importa enzimas prioritariamente de países desenvolvidos, como Estados Unidos, Japão e países europeus, e exporta principalmente para países da América Latina. (Sistema ALICE, 2008)

Levando em consideração as exportações e importações de enzimas industriais e especiais em 2008, o mercado externo brasileiro de enzimas foi de cerca de US\$ 282,5 milhões, apresentando um grande crescimento de 92% em relação ao ano de 2005. As importações foram de US\$ 248,3 milhões, cerca de 88% do mercado total, as exportações correspondem a US\$ 34,2 milhões, cerca de 12,1% do mercado externo brasileiro. O crescimento observado é comprovado pela hegemonia do Brasil em relação aos países da América Latina. Até o ano de 2014 o Brasil deve responder por cerca de 60% da demanda de enzimas na região. (Freedonia Group Incorporated, 2006)

Diante do cenário apresentado, com grande crescimento no mercado brasileiro de enzimas, larga predominância de importações, principalmente de enzimas especiais e forte indicação de exportação de matéria-prima e importação de produto acabado devido à diferença observada nos valores médios dos produtos, algumas estratégias devem ser adotadas para reduzir a dependência externa destes produtos e aumentar a competitividade do Brasil em relação aos países desenvolvidos. O estabelecimento de parcerias entre governo, universidades e empresas com o fomento das atividades de pesquisa e desenvolvimento e a busca por produtos inovadores e com novas aplicações pode colocar o país em posição de destaque no cenário internacional.

#### **2.4 – Estrutura Industrial e Participantes de Mercado**

As companhias dominantes no mercado de enzimas industriais são a dinamarquesa Novozymes e a Danisco/Genecor. Ambas foram originadas a partir de firmas de biotecnologia com fins terapêuticos. A Novozymes foi criada a partir da Novo Nordisk em 1999, e a Genecor foi originada a partir de uma *joint venture* entre as Norte-Americanas Corning e Genentech em 1982. Em 2005 a dinamarquesa Danisco efetuou a aquisição da Genecor, buscando fortalecimento no mercado de enzimas industriais, sobretudo no setor de enzimas para alimentos. As companhias Novozymes e Danisco/Genecor detêm mais de dois terços do mercado de enzimas industriais.

A tabela 7 apresenta o *market share* para as empresas líderes de mercado no ano de 2003.

Tabela 7 - Market share para os Principais Produtores de Enzimas Industriais, 2003

<b>Produtores</b>	<b>Market share(% valor)</b>
Novozymes	42
Genecor <sup>2</sup>	21
DSM/Gist-brocades	8
Amano	7
Chr. Hansen	4
Rohm Enzyme	2
Outras.	16

Fonte: Consultoria SRI 2003

Atualmente, a participação da Novozymes no mercado mundial de enzimas é de cerca de 50-60% do total em valor, enquanto que a Danisco/Genecor possui um *market share* de aproximadamente 30% (Decision News Media, 2005), o que indica um aumento da soberania de ambas as companhias no mercado mundial de enzimas industriais.

O período de consolidação do mercado de enzimas industriais no mundo ocorreu em 1995-1996. As companhias Solvay Enzymes e Showa Denko deixaram o mercado. As companhias Gist-brocades e Genecor fizeram uma “troca” de negócios, com a Gist-brocades deixando o mercado de enzimas industriais para lavanderia, efetuando a venda de seus negócios para a Genecor, e a Genecor vendendo seus interesses no mercado de enzimas para alimentos para a Gist-brocades.

---

<sup>2</sup> Os valores apresentados na tabela são referentes ao ano de 2003, antes da aquisição da Genecor pela Danisco em 2005. Atualmente a Genecor é a divisão de biotecnologia da Danisco, a qual passou a ser a segunda maior companhia fornecedora de enzimas industriais, atrás apenas na Novozymes.

Apesar desta consolidação do mercado, algumas enzimas industriais, especialmente no mercado de detergentes, sofreram uma grande pressão para redução de preços. Isto foi resultado da fragmentação deste mercado, onde os produtores pequenos competiam primeiramente em relação aos preços.

A tabela 8 apresenta o *market share* dos produtores no mercado de enzimas por segmentos.

Tabela 8 - Market share para os Principais Produtores de Enzimas Industriais por Setor de Mercado (%)

<b>Produtores</b>	<b>Enzimas Técnicas</b>	<b>Enzimas para Alimentos</b>	<b>Enzimas para Rações</b>
<b>Novozymes</b>	49	30	33
<b>Danisco/Genecor</b>	35	-	17
<b>DSM/Gist-brocades</b>	-	23	24
<b>Outras</b>	16	47	26

Fonte: Consultoria SRI, 2003

Os dois principais produtores de enzimas, a Novozymes e a Danisco/Genecor operam atualmente próximo à capacidade máxima em suas plantas. Esta faixa de operação ocorre principalmente devido ao estabelecimento de contratos de longo prazo com outras empresas como a Procter & Gamble, por exemplo.

A Novozymes vem produzindo enzimas industriais nos últimos cinquenta anos, possuindo o maior portfólio dentre os produtores de enzimas, com cerca de 600 produtos baseados em 75 enzimas. Desde 1995, a companhia lançou mais de 35 novos produtos, mais do que qualquer outro produtor de enzimas. A criação da Novozymes a partir da Novo Nordisk permitiu o avanço em novos mercados, como a produção farmacêutica por exemplo.

A Danisco/Genecor passou a ocupar lugar de destaque na produção de enzimas industriais como resultado do desenvolvimento de produtos inovadores e de aquisições chave. A Genecor foi a primeira companhia a utilizar técnicas de engenharia de proteínas para produzir enzimas com funções aprimoradas, além de contribuir para a expansão do negócio de enzimas para detergentes.

A holandesa DSM é uma companhia de química fina, com foco primário na produção de enzimas para aplicações em alimentos (produção de queijo principalmente) e no mercado de rações animais, onde aparece como competidor emergente. É a maior companhia mundial em termos de valor com relação aos processos fermentativos. (Decision News Media, 2005)

Outros atores como as companhias Degussa e Hercules vêm buscando maior destaque no cenário de enzimas industriais através de investimentos em P&D na biocatálise e aquisições, como a compra da Aventis's Chirotech pela Degussa, para o desenvolvimento de catalisadores para síntese de compostos quirais. Em relação às especialidades químicas, a companhia Degussa fez investimentos de US\$ 19 milhões em P&D em biocatalisadores após 2003.

O estabelecimento de parcerias representa uma importante estratégia para a entrada no mercado de enzimas. Em 2000, a companhia Degussa firmou uma parceria com a Norte-Americana MediChem Life Sciences para a desenvolvimento e utilização de biocatalisadores na produção de fármacos.

Novos entrantes na indústria como as companhias Diversa e Maxygen estão intimamente aliados com outros produtores e consumidores de enzimas.

A companhia Diversa está trabalhando em parceria com a Dow, Novartis Seeds, Aventis Animal Health, Danisco e Invitrogen. A Maxygen colabora com a Novozymes, DSM e Pfizer. Os projetos têm escopo variado, desde o aprimoramento de enzimas já existentes até o desenvolvimento de novas rotas para produção de especialidades químicas e fármacos.

O sucesso das companhias entrantes no mercado de enzimas industriais terá forte dependência da capacidade destas companhias desenvolverem produtos inovadores em novas aplicações, e não tanto nas áreas dominadas pelas companhias já estabelecidas. (consultoria SRI 2003)

A tabela 9 apresenta os principais produtores de enzimas industriais e a localização de suas plantas, além das enzimas produzidas em cada uma delas.

Tabela 9 - Maiores Produtores de Enzimas Industriais

<b>Companhia e Localização da Planta</b>	<b>Tipos de Enzimas</b>
<b><u>Novozymes</u></b>	
Araucaria, Brasil	Não Divulgado
Hongda, China	Não Divulgado
Tiajin, China	Não Divulgado
Kalundborg, Dinamarca	Amilase, Celulase, Lipase, Glicose
Copenhagen, Dinamarca	Isomerase Não Divulgado
Dittengen, Suíça	Amilase, Celulase
Franklinton, Carolina do Norte, EUA	Amilase, Celulase, Hemicelulase, Protease
<b><u>Genecor</u></b>	
Arroyito, Argentina	Não Divulgado
Wuxi, China	Não Divulgado
Hanko, Finlândia	Amilase, Celulase, Glicose Isomerase
Jansankoski, Finlândia	Catalase, Celulase
Beloit, Winsconsin, EUA	Amilase
Elkhart, Indiana, EUA	Não Divulgado
Grand Rapids, Iowa, EUA	Celulase, Protease
<b><u>DSM/Gist-brocades</u></b>	
Seclin, França	Amilase, Celulase, Lipase, Protease
Delft, Holanda	Amilase, Celulase, Lipase, Glicose Isomerase
<b><u>A Constantino</u></b>	
Fravia, Itália	Amilase
<b><u>Amano Enzymes, Inc.</u></b>	
Japão	Amilase, Catalase, Celulase, Lipase, Protease

---

<b><u>Asahi Kasei Corporation</u></b> Tagata, Japão	Lipase
<b><u>Biozyn</u></b> Kundl, Áustria Blaenavon, Reino Unido	Amilase, Celulase, Lipase, Protease Celulase
<b><u>Dah Shyang Chemical Co.</u></b> Yangmei City, Taiwan	Amilase
<b><u>Daiwa kasei</u></b> Koga-sun, Japão	Amilase, Protease
<b><u>Danisco Ingredients</u></b> Grindsted, Dinamarca	Amilase, Celulase, Lipase, Protease
<b><u>Genzyme</u></b> West Malling, Reino Unido	Lipase
<b><u>BF Goodrich</u></b> Munique, Alemanha	Amilase, Protease
<b><u>Hailsun Chemical Co.</u></b> Chungli, Taiwan	Amilase
<b><u>Hankyu Bioindustry</u></b> Neyagawa-shi, Japão	Amilase, Protease
<b><u>Larbus SA</u></b> Penacastillo, Espanha	Celulase
<b><u>Nagase ChemteX</u></b> Fukuchiyama, Kyoto, Japão	Amilase, Catalase, Glicose Isomerase, Lipase
<b><u>Quest International</u></b> Carrigaline, Irlanda	Amilase, Celulase, Protease
<b><u>Rhodia</u></b> Woodley, Reino Unido	Amilase, Celulase, Protease
<b><u>Rohm Enzyme</u></b> Darmstadt, Alemanha	Amilase, Celulase, Protease

---



---

**Sanofi Chimie SA**

França

Amilase, Celulase, Lipase

**Shin Nihon Chemical Co**

Anyjo, Aichi, Japão

Amilase, Celulase, Protease

**Yakult Pharmaceutical**

Susono, Shizuoka, Japão

Amilase, Celulase, Protease

---

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (Consultoria SRI, 2003) e (ChemExper Suppliers, 2007)

Todos os processos de produção de enzimas apresentam forte economia de escala. Isto sugere que a pressão sobre os preços permanecerá forte, existindo muitos incentivos para o ganho de mercado e redução de custos.

A forte economia de escala existente cria barreiras de entrada, e os três maiores atores (Novozymes, Genecor e DSM/Gist-brocades) estão continuamente investindo em linhas de produto inovadoras. Desta forma, o crescimento de empresas menores fica restrito a determinados nichos.

É possível observar a presença marcante da celulase no portfólio de produtos dos grandes produtores mundiais de enzimas, e as diferentes apresentações do produto, caracterizada pela atividade enzimática por unidade de massa indica um leque amplo de aplicações para a enzima.

A partir de dados mercadológicos da BCC (Business Communications Company) foram identificadas as principais companhias no que se refere à produção e desenvolvimento de tecnologias enzimáticas em geral. Uma análise do perfil e histórico destas companhias permite o estabelecimento de tendências para os setores de enzimas industriais e especiais.

Dentre as companhias apresentadas foram identificadas a Dyadic International Incorporated e a canadense Iogen Corporation, as quais possuem forte presença no mercado de enzimas celulases.

 Dyadic International Incorporated

A companhia Dyadic International, Inc. (Dyadic) é uma empresa de biotecnologia que atua nas áreas de bioenergia, enzimas industriais e indústria farmacêutica. A companhia tem seu foco direcionado ao negócio de bioenergia visando a produção de etanol a partir de matérias-primas celulósicas. A companhia oferece uma linha de enzimas celulasas para diversas aplicações, como acabamento têxtil, com a série de produtos Rocksoft ACE e BioACE. A Dyadic vende mais de 55 produtos enzimáticos em diferentes apresentações para mais de 200 clientes industriais em aproximadamente 50 países. (Reuters, 2007)

 Iogen Corporation

Criada nos anos 1970, a Corporação Iogen é hoje uma das principais firmas de biotecnologia do Canadá. A Iogen é líder mundial em tecnologia para produção de etanol a partir de matérias-primas celulósicas. A companhia é também fabricante de enzimas industriais com um foco em produtos para as indústrias de papel, têxtil e de rações animais.

A Iogen finalizou a construção, e atualmente opera a única planta mundial de escala industrial de demonstração para conversão de biomassa celulósica em etanol usando tecnologia enzimática. Esta planta está situada em Ottawa. A Iogen está avaliando atualmente as possíveis localizações para a primeira planta comercial de etanol proveniente de celulose. Em longo prazo, a Iogen pretende comercializar seu processo de produção de etanol licenciando sua tecnologia. As taxas de licenciamento e o fornecimento de enzimas aos licenciados irão gerar receita adicional para a companhia. (Reuters, 2007)

Na tabela 10 estão listadas algumas das principais companhias em termos de tecnologias enzimáticas de acordo com a BCC.

Tabela 10: Principais companhias de tecnologia enzimática.

Abbott Laboratories	Frutarom Limited
Allergan Incorporated	Invitrogen Corporation
Altus Pharmaceuticals Incorporated	Johnson & Johnson
Amano Enzyme Incorporated	Maxygen Incorporated
Archer-Daniels-Midland Company	MP Biomedicals LLC
Associated British Foods plc	National Enzyme Company
Axcan Pharma Incorporated	New England BioLabs Incorporated
BASF AG	Novozymes A/S
Cargill Incorporated	PDL BioPharma Incorporated
ChemGen Corporation	Promega Corporation
Chr. Hansen A/S	Roche Holding Limited
CSL Limited	Royal DSM NV
Danisco A/S	Shire plc
Degussa AG	Solvay SA
Diversa Corporation	Specialty Enzymes and Biochemicals Company
Genentech Incorporated	Stratagene Corporation
Genzyme Corporation	Valley Research Incorporated

Fonte: The Business Communications Company , 2006)

## Capítulo 3 – Enzimas Industriais

### 3.1 – Mercado de Enzimas Industriais

O mercado para enzimas industriais é dividido nos seguintes setores:

- ✚ **Enzimas Técnicas** (enzimas para manufatura de tecidos e couro, enzimas para processamento de polpas e papel, enzimas para detergentes e lavanderia, enzimas para produção de óleo e gás, etc.)
- ✚ **Enzimas para Alimentos** (enzimas para processamento de amido e produção de adoçantes, massas e farinhas, produção de queijos e produtos derivados, sucos e produção de vinhos)
- ✚ **Enzimas para Rações Animais**

As principais classes de enzimas comerciais são as celulases, amilases, lipases e proteases (as mais comercializadas).

O mercado mundial de enzimas industriais é estimado em US\$ 2,3 bilhões, correspondendo a aproximadamente 60% do mercado total de enzimas e tende a crescer a uma taxa de 5,7% ao ano, conforme citado anteriormente. (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006)

Em 2002 a demanda mundial de enzimas industriais ficou entre US\$ 1,9-2,0 bilhões. Este mercado teve um crescimento médio anual de 9% nas vendas no período de 1992 até 2002. O maior crescimento observado ocorreu no setor de enzimas para rações animais (especialmente as fitases), com um crescimento de mais de 20%. (Consultoria SRI, 2003)

As maiores regiões consumidoras de enzimas industriais são a Europa e África, com uma participação de 43%, seguido de Estados Unidos e Canadá com 32%, Ásia Pacífica com 17% e América Latina, com 8%. (Consultoria SRI, 2003)

A tabela 11 apresenta as vendas globais estimadas das principais enzimas industriais em 2002 e seu crescimento anual previsto no período de 2002-2007.

Tabela 11 - Mercado Mundial de Enzimas Industriais

<b>Categoria</b>	<b>Valor (US\$ milhões)</b>	<b>Crescimento Anual (%) 2002-2007</b>
<b>Enzimas Técnicas</b>		
Detergentes	550	0,5
Aplicações Têxteis	200	2-3
Cuidado Pessoal	100	10
Processamento de Couro	60	3
Processamento de Papel e Polpas	30	7
Outras Aplicações	100	5
<b>Total</b>	<b>1.040</b>	<b>5%</b>
<b>Enzimas para Alimentos</b>		
Processamento de Amido e Produção de Adoçantes	200	2
Farinhas e Confeitaria	150	4
Queijos e Derivados	100	1,5
Extratos e Sucos de frutas	90	3
Produção de Bebidas	60	0,5
Outras Enzimas para Alimentos	120	2-3
<b>Total</b>	<b>720</b>	<b>3%</b>
<b>Enzimas para Rações Animais</b>	200	10-20
<b>Total Global</b>	<b>1.960</b>	<b>5%</b>

Fonte: Consultoria SRI 2003

Observa-se que apesar do menor crescimento observado entre os segmentos de enzimas técnicas, as enzimas com aplicações em detergentes representam cerca de 50% das vendas de enzimas técnicas. É importante ressaltar que o valor das vendas de enzimas para o segmento de cuidado pessoal é bastante representativo, mas o que mais se destaca é o crescimento anual de 10% nas vendas.

### 3.2 – Enzimas Técnicas

O maior segmento do mercado de enzimas industriais é o de enzimas técnicas, com 53%, onde a celulase aparece em destaque. Este segmento corresponde a mais de US\$ 1,1 bilhão, sendo US\$ 550 milhões correspondentes ao setor de aditivos para detergentes. As principais enzimas para detergentes são as celulases, proteases, amilases e lipases. Estas enzimas são utilizadas como ingredientes funcionais em detergentes para lavanderia e limpeza específica.

Um crescimento de 9% nas vendas de enzimas técnicas foi alavancado por aplicações têxteis, produção de etanol combustível, couro e papel. O maior aumento observado ocorreu no setor têxtil, com a produção de tecidos tratados (principalmente jeans) com enzimas, sendo grande parte produzida na Índia e América do Sul.

A celulase possui aplicações em muitos dos segmentos que utilizam enzimas técnicas. Algumas das aplicações comerciais atuais da celulase incluem:

- ✚ Em tecidos, redução da deposição de pigmentos
- ✚ Em detergentes, manutenção das cores originais
- ✚ Aprimoramento da viscosidade de pastas no processamento de amido e na produção de álcool combustível.
- ✚ Aprimoramento mecânico de massas na produção de alimentos
- ✚ No processamento de vegetais, a celulase é utilizada na solubilização de constituintes destes, os quais são utilizados na produção de frutas e outros.
- ✚ Na indústria de vinhos, a celulase atua na clarificação de vinhos e previne danos às paredes celulares durante os processos de esmagamento ou prensagem.
- ✚ Na indústria de adoçantes e confeitos, a celulase é utilizada na remoção de amidos e polissacarídeos indesejáveis no processamento de açúcar.

- ✚ Na indústria de papel, a celulase atua ainda no processo de branqueamento, enquanto que na indústria têxtil o tratamento com celulase contribui para o aumento do poder de absorção de pigmentos dos tecidos de algodão. (M.K. BHAT, 1997)

O Mercado mundial de celulases é de cerca de US\$500 milhões, o que corresponde a aproximadamente 20% do *market share* para enzimas industriais. (CelluloZyme, 2006)

A tabela 12 mostra o mercado de celulase por região, sua variação a partir do ano de 2002 e uma projeção até o ano de 2009.

Tabela 12 - Mercado Regional de Enzima Celulase e Projeção até 2009 (US\$ milhões)

	2002	2003	2004	2009	Crescimento anual (%) 2004 – 2009
<b>América do Norte</b>	14.0	14.1	14.5	17.0	3.2
<b>Europa Ocidental</b>	12.0	13.0	13.0	15.4	3.4
<b>Resto do Mundo</b>	12.1	12.0	12.5	14.4	2.9
<b>Total</b>	38.1	39.2	40.0	46.8	3.2

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da BCC – Business Communications Company

A partir dos dados apresentados acima pode ser observada uma maior utilização de enzimas celulases na América do Norte em relação às demais regiões, ao contrário do que ocorre com as enzimas em geral, onde a região de maior consumo é a Europa Ocidental. Contudo, existe um maior crescimento do mercado Europeu (3,4% a.a) para as enzimas celulases em relação às demais regiões.

As projeções apontam um distanciamento ainda maior da América do Norte em relação ao resto do mundo no que se refere ao mercado de enzimas celulases.

Os projetos de pesquisa para produção de bioetanol e a construção das plantas produtoras no Canadá e Estados Unidos podem contribuir ainda mais para o maior consumo regional de enzimas celulases.

### 3.2.1 – Enzimas na Indústria de Detergentes

O maior mercado para enzimas industriais com 53% do total, com volume de US\$ 1040 milhões, onde US\$ 550 milhões são relativos aos aditivos para detergentes. As principais enzimas são as celulases, amilases e proteases. Estas enzimas são utilizadas como ingredientes funcionais em detergentes para lavanderia e detergentes para lavadoras automáticas.

As enzimas têm contribuído grandemente para o aprimoramento e desenvolvimento de detergentes industriais e residenciais. Estes produtos são efetivos em temperaturas moderadas e valores de pH que caracterizam as modernas condições de limpeza. Algumas das contribuições principais são:

- ✚ Melhor desempenho de limpeza
- ✚ Menor tempo de limpeza devido a mais rápida degradação das impurezas
- ✚ Menor consumo energético devido a temperaturas mais brandas
- ✚ Menor consumo de água devido a maior eficiência de limpeza
- ✚ Impacto ambiental mínimo devido a biodegradabilidade apresentada pelas substâncias envolvidas
- ✚ Melhora das condições dos tecidos de algodão através da ação rejuvenescedora das celulases nas fibras

Os detergentes foram a primeira aplicação em larga escala para enzimas provenientes de microorganismos e são também a maior aplicação em termos de volume e vendas para enzimas técnicas. As enzimas preparadas para detergentes estão disponíveis nas



formas granular e líquida. As formas granuladas contêm, além das enzimas, sais e fibras de celulose para fortalecer o grânulo, além de pigmentos.

As preparações líquidas de enzimas para detergentes utilizam sistema de solventes água/propileno glicol, que aumentam a estabilidade.

Cada uma das classes de enzimas produz um benefício específico para a limpeza. As proteases foram, historicamente, as primeiras a serem utilizadas em detergentes. Atualmente, as proteases se uniram às lipases e amilases no aumento da efetividade dos detergentes, especialmente em operações de limpeza industrial e diminuição das temperaturas de lavagem residencial. As celulasas são muito importantes na manutenção da aparência ou rejuvenescimento dos tecidos. As celulasas também aprimoram o “toque” dos tecidos.

Algumas proteases comerciais são a Alcalase®, Subtilisin NOVO® e Esperase®. As lipases comerciais incluem a Lipolase™, que apresenta atividade máxima a baixas concentrações de mistura (20-30%). Uma celulase comercial, a Celluzyme® foi introduzida pela Novo em 1986, produzida a partir do fungo *Humicola insolens*, seguida de uma celulase monocomponente, a Carezyme®, para condicionadores de tecidos. A Genecor desenvolveu uma celulase para lavanderia, a Puradax®. A companhia Kao desenvolveu sua própria celulase bacteriana nos anos 1980.

As celulasas alcalinas são produzidas por bactérias, enquanto que as celulasas neutras e ácidas são produzidas pelos fungos *Trichoderma* e *Humicola*.

As enzimas utilizadas em detergentes podem ser estabilizadas através de íons cálcio livres (100-1000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$ ). Menores teores de água contribuem para redução da proteólise, e por isso as formulações líquidas contêm tipicamente menos de 50% de água, com álcool e propileno glicol como cosolventes. Um dos fatores que influencia a descoberta de novas enzimas para detergentes ou modificação das existentes é a tolerância destas enzimas a outras substâncias como surfactantes, branqueadores e soluções alcalinas. A tendência a utilização de menores temperaturas de lavagem,

principalmente na Europa, contribui para o desenvolvimento de enzimas adicionais. A remoção de gorduras é relativamente simples com a utilização de água a elevadas temperaturas, contudo as enzimas necessitam de menores temperaturas para exercer seu poder adicional de limpeza.

### **3.2.2 – Enzimas na Indústria Têxtil**

As enzimas encontram muitas aplicações na indústria têxtil no aprimoramento dos métodos de produção e acabamento de produtos. As celulases são importantes ferramentas na finalização dos tecidos. O sucesso destas enzimas começou com a descoberta de que estas poderiam ser utilizadas para atingir o visual adequado de tecidos de acordo com as tendências de moda, alternativamente à utilização de produtos abrasivos.

As celulases são utilizadas ainda para prevenção do desgaste de tecidos e aprimoramento da maciez e brilho das cores do algodão, no processo conhecido como biopolimento.

As enzimas têm grandes vantagens nas aplicações têxteis devido à menor agressão aos tecidos e pronta biodegradabilidade, não sendo afetadas pelas regulações ambientais, em contraste aos produtos químicos tradicionais.

A companhia Genecor é a líder mundial no fornecimento de enzimas para têxteis. A Novozymes, no entanto, é a líder europeia, fornecendo enzimas inclusive para distribuidores, os quais desenvolvem formulações próprias. As principais companhias no Japão, para o setor são a Daiwa Kasei, Nagase Biochemicals, Rakuto Kasei Kogyo e Ueda Chemical Industry Company. Na Índia, a líder no segmento é a companhia Novozymes, cujas enzimas são importadas da Dinamarca. Outras companhias que fornecem enzimas, especialmente celulases são a Indiana Maps, Advanced Biochemicals e Biocon India Ltd.

O consumo mundial de enzimas industriais para aplicações têxteis é estimado em mais de US\$ 200 milhões, com crescimento de cerca de 2-3%. A Ásia é a maior região consumidora, com 60% de participação de mercado, seguida da América do Norte e América do sul, com 20% e Europa Ocidental, Turquia e Europa Oriental, com 5%. O mercado indiano merece destaque, apresentando grande crescimento, com taxa de 15-20%.

### **3.2.3 – Enzimas para Cosméticos e Cuidado Pessoal**

O mercado de US\$180 bilhões para cosméticos e cuidado pessoal é uma área relativamente nova para aplicações enzimáticas. Contudo, algumas enzimas são empregadas atualmente em muitos produtos (proteases, catalases e lipases são usadas em soluções para limpeza de lentes de contato; glucoamilases e glucose oxidases em pastas de dentes; proteases em limpeza odontológica).

### **3.2.4 – Enzimas no Processamento de Papel**

Na indústria de papel e polpa as principais aplicações de enzimas são no branqueamento e descoloração química de papel de rejeito. Celulases, lipases e xilanases são enzimas utilizadas no processo.

A reciclagem de papel tem crescido nos últimos anos. O processo de descoloração de mistura de papel rejeitado foi desenvolvido utilizando celulases, o que reduz consideravelmente a necessidade de utilização de produtos químicos. Os benefícios da utilização de enzimas incluem o aprimoramento do clareamento da polpa, menor risco de depósitos indesejados e polpa final mais brilhante.

O processo de fibrilação de polpas por celulases foi desenvolvido em 1959, enquanto que o aprimoramento da drenagem no processo ocorreu em 1988. A descoloração por xilanases e celulases começou a ser utilizada em 1991.

O potencial de mercado para o setor pode ser relacionado às pressões de caráter ambiental na indústria de papel.

As enzimas celulases e xilanases comerciais são oferecidas por companhias líderes de mercado, como a Novozymes e Genecor, além de companhias da indústria de papel, como a Nalco\Suez Lyonnaise, BetzDeaborn\Hercules e Vinings Industries.

A tabela 13 apresenta os fornecedores mundiais de enzimas comerciais para polpa e papel e seus produtos mais representativos.

Tabela 13 - Fornecedores Mundiais de Enzimas para Polpa e Papel

<b>Companhia</b>	<b>Produtos</b>
Alko Ltd., Biotechnology	Celulases, xilanases
Buckman Laboratories	Celulases, xilanases
Clariant	Xilanase (Catarzyme™)
CPN International	Celulases, xilanases
Enzyme Bio-systems	Celulases, xilanases
Enzyme Deinking Technologies	Celulases (Enzynk™)
Enzyme Development	Celulases, xilanases
Genecor International	Celulases, xilanases
ICI Forest Products	Xilanase (Ecopulp X-200)
Iogen Corporation	Xilanases
Nalco Chemical	Xilanase (Irgazyme-40)
Neozyme International	Celulases, xilanases
Novoymes	Xilanase (Pulpzyme HB), Lipase (Resinase A 2X)
Primalco Biotech	Celulases, xilanases
Recombinant BioCatalysis	Celulase (Novozyme 342), xilanases
Solvay Enzymes	Xilanase (L 8000)
Thomas Swan & Co. Ltd.	Celulases, xilanases

Fonte: Consultoria SRI, 2003

O crescimento estimado da demanda de enzimas para aplicações em polpa e papel durante o período entre 2002 e 2007 é de 7,0% ao ano, com mercado de aproximadamente US\$ 30 milhões. Dentre as principais enzimas nas aplicações no setor, as xilanases aparecem com destaque.

### 3.2.5 - Enzimas para Produção de Álcool Combustível

Dentre outras aplicações para as enzimas técnicas, a produção de álcool combustível pode ser destacada no que se refere à utilização crescente de enzimas celulases.

Em países como o Brasil, com grande potencial para o desenvolvimento da agricultura, o etanol produzido a partir da biomassa pode ser utilizado como substituto ou aditivo para combustíveis tradicionais como a gasolina por exemplo. Matérias-primas com base de açúcares, como o caldo da cana, podem ser fermentados diretamente. Contudo, isto não é possível para matérias-primas amiláceas, as quais devem quebradas em açúcares simples fermentáveis. Aproximadamente 100 mil toneladas de grãos são processadas diariamente em todo o mundo para a produção de etanol combustível e bebidas como uísque e vodca. (Consultoria SRI, 2003)

O Projeto Bioetanol, desenvolvido por 14 universidades e centros de pesquisa no Brasil, é composto de cinco áreas de pesquisa, sendo uma destas a produção de um *blend* enzimático para tratamento da matéria-prima utilizada, cuja principal enzima é a celulase. A produção local destas enzimas com competitividade representa um dos principais gargalos identificados, mas é de grande importância estratégica para o país. (Bon, 2007)

As enzimas utilizadas na produção de álcool combustível atualmente são:

- ✚ Alfa-amilases – Utilizadas para liquefação das pastas de amido, seguida da utilização de glucoamilases para completar a hidrólise da glucose.
- ✚ Celulases – Utilizadas no aprimoramento da viscosidade, essenciais para o aumento de rendimento de glucose disponível nas matérias-primas e utilizável ainda para o aumento da disponibilidade de nitrogênio nutriente para microorganismos.
- ✚ Proteases – Utilizadas para clivagem de glutens, aprimoramento de viscosidade e aumento do rendimento de etanol obtido.

No momento, o mercado de enzimas tem seu foco direcionado à produção de etanol combustível a partir de milho, cana-de-açúcar e outros tipos de biomassa.

O mercado de enzimas para produção de etanol combustível a partir de milho, atualmente, é de cerca de US\$ 100 milhões, e as estimativas indicam que a demanda por enzimas para este mercado em 2012 deve ser duas vezes maior que a demanda atual. Dentre os fatores que contribuem para o grande crescimento está o incentivo dado pelo governo dos Estados Unidos em relação às taxas para a atividade. Existem dois mercados distintos para enzimas utilizadas na produção de etanol. O primeiro é um mercado já existente, e que apresenta maior crescimento. Consiste na utilização de matérias-primas sacaríneas e amiláceas, como abordado anteriormente. (Hannon, 2006)

O Segundo Mercado, ainda em desenvolvimento, é o de enzimas necessárias para produção de etanol a partir de biomassa celulósica, como o bagaço de cana por exemplo. A utilização de matéria-prima celulósica representa uma importante alternativa à utilização de grãos para produção de etanol pelo fato de gerar energia sem que ocorra nenhum impacto adverso no fornecimento de alimentos.

A produção de etanol a partir de matéria-prima celulósica pode atingir 272 bilhões de litros em 2030, ou 30% do consumo total de gasolina nos Estados Unidos. (NREL, 2006)

As companhias Novozymes e Genecor possuem, respectivamente, 40% e 20% de participação em termos de valor do mercado global de enzimas utilizadas na produção de etanol. As duas companhias possuem programas para redução de custos e desenvolvimento do *blend* de enzimas adequadas à produção de biocombustíveis a partir de fontes celulósicas. Projetos similares estão sendo desenvolvidos por grandes companhias como Syngenta, Diversa, DuPont e Codexis.

### 3.3 – Enzimas para Alimentos

A segunda maior área de aplicações para enzimas industriais é a de alimentos, que corresponde a 37% do mercado total, com US\$ 720 milhões. As principais enzimas em alimentos são as amilases, glucoamilases e glucoseisomerasas, as quais são utilizadas para liquefação do amido, sacarificação e reações de isomerização. As principais aplicações para a indústria são o processamento de amido e produção de adoçantes, com 10%, farinhas e confeitaria, com 8% e queijos e derivados com 5% do total de usos de enzimas industriais.

A utilização de enzimas em farinhas e confeitaria possui um dos maiores crescimentos anuais observados, com uma taxa anual de cerca de 7,2% (Frost and Sullivan 2006 ).

O mercado para enzimas em confeitaria atingiu US\$ 64,8 milhões em 2003, com projeção de mercado para cerca de US\$ 105,5 milhões em 2010.

Com US\$ 95,6 milhões em valor e 43.7% da receita total, o Mercado de enzimas para processamento de açúcar e amido é o maior Mercado do setor, mas possui crescimento lento, com taxa estimada de 2,3% no período de 2003 a 2010. Isto se deve à consolidação da indústria no segmento. (Frost and Sullivan, 2006)

As enzimas são fornecidas para a indústria de alimentos principalmente em apresentação líquida, com inúmeras concentrações. As soluções são de mais fácil utilização e de menor custo de produção.

O consumo de enzimas para alimentos nos EUA ultrapassa os US\$ 200 milhões, enquanto que na Europa Ocidental e Japão correspondem, respectivamente, a cerca de US\$ 250 milhões e US\$ 100 milhões. O consumo de celulases para alimentos no Japão é de mais de US\$ 7,2 milhões. Os principais mercados para enzimas em alimentos na Europa Ocidental são a Alemanha, França e Reino Unido. (Consultoria SRI, 2003)

Março de 2009

A companhia Novozymes, líder mundial em enzimas industriais, também ocupa posição de destaque no mercado de enzimas para alimentos, com cerca de 30% de participação. Em seguida aparece a Genecor, com 20%, DSM com 13%, Chr. Hansen com 12% e Danisco, com 6% do mercado neste segmento. As demais companhias somam 17% do mercado.

As celulasas são bastante representativas no mercado de enzimas para alimentos, o que pode ser observado na tabela 14, a qual apresenta os principais produtores mundiais de enzimas celulasas para o setor de alimentos e a localização das plantas.

Tabela 14 - Principais Produtores Mundiais de Enzimas Celulasas para o Setor de Alimentos

<b>Companhia</b>	<b>Localização da Planta</b>
<b><u>ABITEC Corporation/AB Enzyme</u></b>	Columbus, Ohio, EUA
<b><u>Enzyme Development Corporation</u></b>	Scranton, Pensilvânia, EUA
	Beloit, Wisconsin,
<b><u>Genecor International, Inc</u></b>	EUACedar Rapids, Iowa, EUA
	Elkhart, Indiana, EUA
	Hanko, Dinamarca
	Franklinton, Carolina do Norte, EUA
<b><u>Novozymes</u></b>	Kalundborg, Dinamarca
	Dittingen, Suíça
<b><u>Danisco</u></b>	Grinsted, Dinamarca
<b><u>DSM Food Specialities</u></b>	Seclin, França
	Delft, Holanda
<b><u>LYVEN</u></b>	Caen, França
<b><u>SAF-ISIS</u></b>	Soustons, França
<b><u>AB Enzymes</u></b>	Darmstadt, Alemanha
<b><u>Quest International</u></b>	Carrigaline, Irlanda
<b><u>Rhodia</u></b>	Woodley, Reino Unido
<b><u>Amano Enzyme, Inc</u></b>	Kawasaki, Prefeitura de Kanagawa
<b><u>Hankyu Bioindustry Company</u></b>	Maizuru, Prefeitura de Kyoto
<b><u>Negase chemteX Corporation</u></b>	Fukuchiyama, Prefeitura de Kyoto
<b><u>Shin Nihon Chemical Company</u></b>	Anjyo, Prefeitura de Aichi

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (Consultoria SRI, 2003)



### 3.4 – Enzimas para Rações Animais

Outro segmento chave para o mercado de enzimas industriais é o mercado de US\$ 200 milhões de enzimas para rações animais, o qual possui a maior taxa de crescimento, com cerca de 10-20%. As enzimas têm ação importante no aumento da digestibilidade de certos nutrientes presentes nas rações, contribuindo para o aumento da produtividade animal. As principais enzimas são as fitases, xilanases, proteinases e amilases. Estima-se que do mercado total de rações animais cerca de 5% seja abastecido com enzimas para rações.

As enzimas são adicionadas diretamente às rações ou previamente misturadas com vitaminas, minerais e outros aditivos. Algumas enzimas utilizadas devem ser tolerantes a elevadas temperaturas devido ao processo de manufatura das rações, que inclui extrusão da mistura úmida a temperaturas de 80-90 °C.

As celulasas são amplamente utilizadas como aditivos em rações animais. Podem ser utilizadas em combinação com outras enzimas com diferentes atividades ou isoladamente. As principais celulasas no segmento são as endoglucanases.

A tabela 15 apresenta as enzimas endoglucanases comerciais, utilizadas isoladamente, aprovadas para utilização em rações animais na União Européia e o microorganismo de origem.

Tabela 15 - Enzimas Endoglucanases Comerciais Aprovadas na UE para Rações Animais

<b>Enzimas</b>	<b>Microorganismo</b>
Allyzyme BG	<i>Trichoderma viride</i>
Avizyme 1110	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>
Poryzyme 8110 e 9110	na
Econase Barley	<i>Trichoderma reesei</i>
Energex	<i>Aspergillus aculeatus</i>
Feedlyve AGL	<i>Aspergillus niger</i>
Rovabio beta-glucanase GEP	<i>Geosmithia emersonii</i>
Hostazym C	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>
Safizym GP e GL	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>

Fonte: Consultoria SRI, 2003

### 3.5 – Preços

As enzimas têm seu preço definido tipicamente com base na massa presente em uma determinada formulação, a qual terá uma atividade enzimática específica, variando em função das aplicações desejadas.

A tendência de preços para as enzimas industriais tem sido de queda nos últimos quinze anos. Algumas das causas observadas são:

- ✚ **Existência de Substitutos** – Para certos processos ou produtos existe substitutos não-enzimáticos o que limita o aumento de preços por parte dos produtores de enzimas.
- ✚ **Pressão dos Consumidores Finais** – Consumidores de grandes quantidades de enzimas tendem a serem negociantes de commodities. Outro fator é a competitividade entre produtos com tecnologias diferentes. Por exemplo, um detergente “Premium” que utiliza enzimas compete com detergentes genéricos encontrados em supermercados. Isto faz com que os produtores de detergentes repassem ao consumidor o elevado custo das enzimas.
- ✚ **Maior Produtividade** – Com o aumento da economia de escala e experiência de manufatura por parte dos produtores de enzimas, o custo marginal de produção diminui, permitindo que o produtor reduza os preços e mantenha a margem de ganho. Os preços das enzimas são negociados, tipicamente, em contrato de base anual, onde o comprador garante parte da capacidade de provisão dos produtores. Um exemplo deste tipo de negociação é o acordo de cinco anos entre a Genecor e a Procter & Gamble para o fornecimento de proteases.

Para muitas aplicações, como processamento de alimentos e tratamento de efluentes, por exemplo, as enzimas não são utilizadas com 100% de pureza na maioria dos casos. São tipicamente concentrados de fermentação que contém outras proteínas, aminoácidos, carboidratos e muitos outros materiais como estabilizantes e ingredientes envolvidos na formulação. Em geral, não é pouco comum que uma

mesma preparação enzimática produzida por diferentes fornecedores apresente variações em relação à atividade (a quantidade de substrato convertido por unidade de tempo por uma unidade de enzima sob condições específicas). (Consultoria SRI, 2003)

Devido às diferenças apresentadas, os produtores de enzimas raramente divulgam seus preços. Logo, o preço unitário deve ser o foco na negociação, ou seja, o parâmetro que importa nas análises de preços de enzimas é a atividade enzimática exibida por unidade de massa do produto.

O preço será maior à medida que mais processos de purificação sejam realizados com o intuito de alcançar produtos com elevada atividade e massa reduzida, como no caso dos kits analíticos envolvendo reações enzimáticas como a análise de glicerol presente no biodiesel.

A avaliação da dinâmica dos preços de enzimas em muitos mercados não é uma tarefa simples devido à grande queda de preços observada em setores como o de aditivos para alimentos e à oscilação cambial existente. (Dong Energy, 2006)

Com a crescente aplicação de celulase na produção de etanol, a enzima possui programas específicos de redução dos preços da enzima por litro de etanol produzido a partir de matérias-primas celulósicas, direcionados aos dois maiores produtores mundiais de enzimas, as companhias Novozymes e Genecor, com suporte da NREL (National Renewable Energy Laboratory) dos EUA. A estratégia consiste na redução dos custos relacionados à recuperação das enzimas, produção das enzimas próximas às plantas e aumento do rendimento da fermentação. (Novozymes Biotech, Inc, 2003)

Para o aumento da atividade enzimática por unidade mássica a estratégia consiste no desenvolvimento de enzimas com termoestabilidade aprimorada, aumento da especificidade e otimização da mistura de enzimas celulases.

Este avanço contribuiu para a redução da diferença entre os custos totais de produção de etanol proveniente de matérias-primas celulósicas e provenientes de grãos de milho para US\$ 0,11/ litro de etanol. (Ugarte, 2006)

Em 2009 a Novozymes anunciou um corte de 50% no custo das enzimas utilizadas na produção de etanol proveniente de matéria-prima celulósica até 2010. (Biofuels Digest, 2009) Como resultado, o custo das enzimas deve atingir US\$ 0,11/ litro de etanol dentro do período estimado, e o custo total do etanol celulósico, incluindo aumento de eficiência no processo produtivo, deve cair dos atuais US\$ 0,77/ litro para US\$ 0,55/ litro. Estima-se que o custo do etanol celulósico possa atingir US\$ 0,20/ litro até o ano de 2015.

A companhia projeta ainda que a comercialização de etanol proveniente de matéria-prima celulósica nos EUA seja rentável até 2015.

O IBUS – Sistema de Utilização Integrada de Biomassa desenvolve um projeto em parceria com a União européia para promover a redução dos custos de produção de etanol nos próximos 40 meses. O projeto estimado em US\$ 20 milhões leva em consideração a provável redução de preços das enzimas utilizadas no processamento da matéria-prima. O custo de enzimas inicial estimado no simulador interativo é de US\$ 0,11 por litro de etanol produzido, valor almejado pela companhia Novozymes. (Integrated Biomass Utilisation System - IBUS, 2007)

Os estudos de viabilidade do processo apontam que o bagaço de trigo utilizado neste caso pode competir com o milho com custo de US\$ 180 por tonelada e com custo de enzima celulase a US\$ 0,25 por litro de etanol. Com a redução dos preços da celulase para R\$0,05 por litro de etanol, antecipada pelas companhias Novozymes e Genecor, a competitividade dos bagaços aumenta ainda mais em relação aos grãos, o que pode ser decisivo no favorecimento das políticas voltadas à produção de biocombustíveis. (Dong Energy, 2006)

A celulase com maior grau de pureza para aplicações em pesquisa principalmente pode ser encontrada no mercado com diversas marcas comerciais. Uma das mais conhecidas e utilizadas mundialmente é a Celluclast, da Novozymes, a qual é negociada com preço de cerca de US\$ 20/100ml solução .

No setor de processamento de polpa e papel, as celulasas utilizadas na descoloração cartuchos de impressão de copiadoras e impressoras estão disponíveis com preços menores que US\$ 10 por quilograma. Caso estas enzimas eliminem a necessidade de utilização de produtos químicos para a aplicação, seu custo efetividade será maior. Enquanto que o custo de descoloração química gira em torno de US\$ 33,00 por tonelada, o custo da descoloração utilizando celulasas é de apenas US\$ 3,30 por tonelada, ou seja, um custo dez vezes menor.

## **Capítulo 4 – Análise de Grupos de Pesquisa em Enzimas**

A prospecção tecnológica em bioprocessos é essencial para identificação das tendências e evolução das tecnologias empregadas nos processos produtivos.

Existem diferentes metodologias para realizar este tipo de análise. Dentre as principais podemos citar a Análise de Patentes e a Identificação de Grupos de Pesquisa em Biotecnologia. Através das patentes podemos obter informações valiosas para aperfeiçoar o processo decisório por parte da diretoria das empresas, principalmente de base tecnológica. Pode-se identificar, por exemplo, os principais tipos de processos biotecnológicos estudados, os produtos desenvolvidos e as diferentes aplicações descobertas. Este tipo de informação indica as prováveis tendências dos mercados em relação ao desenvolvimento tecnológico, permitindo àqueles que dispõem destas informações estarem sempre um passo à frente da concorrência.

Outro aspecto importante é o monitoramento das principais companhias em relação ao depósito de patentes e os respectivos países onde ocorre o desenvolvimento. Isto permite uma análise de inteligência competitiva e indica países que ofereçam um cenário favorável para a biotecnologia.

### **4.1 – Análise de Patentes**

A análise de patentes representa uma das maneiras mais ricas para se avaliar as tendências de desenvolvimento para um determinado setor industrial. A informação contida neste tipo de documento é fundamental para o desenho dos panoramas técnico e mercadológico. Além de apresentar os avanços mais recentes em termos do desenvolvimento tecnológico, as patentes possuem informações valiosas acerca dos atores envolvidos. Em relação à tecnologia enzimática, o setor privado possui grande representatividade em relação ao depósito de patentes.

Devido à grande aplicabilidade das enzimas em diferentes mercados a importância da proteção patentária fica evidente. Ainda assim, historicamente, temos um número reduzido de patentes depositadas sobre enzimas em relação às demais áreas do conhecimento. A tabela 16 mostra o número de patentes sobre enzimas depositadas em relação ao número total de patentes no período entre 1995 e 1998.

Tabela 16 – Evolução do depósito de patentes de 1995 a 1998.

Ano	1995	1996	1997	1998
Número de Patentes – Enzimas	74	84	108	189
Número Total Patentes	12917	14333	13366	18689
Relação Percentual – Enzimas / Total	0,6	0,6	0,8	1,0

Fonte: Enzimas em Biotecnologia: Produção, Aplicações e Mercado, 2008

Os portfólios de patentes das empresas e instituições atuantes no setor revelam que, além das grandes e tradicionais companhias, tem surgido nos últimos anos novos entrantes, como pequenas empresas de base tecnológica, centros de pesquisa e empresas associadas a grupos de pesquisa em universidades, as chamadas *spinoff*. Ao mesmo tempo tornaram-se mais complexas as formas de cooperação entre os novos sistemas de gestão empresarial e as empresas tradicionais.

Para ilustrar as instituições atuantes em enzimas e os principais países depositantes de patentes relacionadas a enzimas foi realizada uma busca de patentes na base Espacenet ([www.espacenet.com](http://www.espacenet.com)), serviço europeu de busca de patentes. Entre os anos 2007 e 2008 foram encontradas 647 patentes sobre enzimas. Destas, 359 foram depositadas em 2007 e 288 em 2008, o que mostra um decréscimo no depósito de patentes. Uma possível explicação para a redução do número de patentes depositadas é a crise mundial, apresentada ao mundo em 2008 após anos de crescimento econômico. Os investimentos em ciência e tecnologia são grandemente afetados em tempos de crise. Frequentemente ocorrem corte de custos no setor, uma vez que a pesquisa e desenvolvimento são intensivos em capital. Em 2009, até meados de fevereiro, já foram depositadas 21 patentes sobre enzimas. Foi utilizada a palavra chave “enzymes” no campo referente ao título da patente. A tabela 17 apresenta o título e o depositante das patentes sobre enzimas depositadas até fevereiro de 2009.

Tabela 17 – Patentes sobre enzimas depositadas em 2009

<b>Título</b>	<b>Depositante</b>
Enzyme delivery device	Unilever [GB]
Sequential enzyme delivery system	Unilever [GB]
Lyase enzymes, nucleic acids encoding them and methods for making and using them	Verenium Corp [US]
Process for neutralizing enzymes in corn	Frito Lay North America Inc [US]
Enzymes for degrading herbicides	Com Scient Ind Res Org [AU] ; Grains Res & Dev Corp [AU]
Novel fungal enzymes	Dyadic International Inc [US] ; Nedwin Glenn [US]
Cellulase enzyme based method for the production of alcohol and glucose from pretreated lignocellulosic feedstock	logen Energy Corp [CA] ; Tolan Jeffrey [CA]
Method for targeting lysosomal enzymes	Zystor therapeutics inc [us]
Modified lecithin-cholesterol acyltransferase enzymes	Amgen Inc [US] ; Zhou Mingyue [US]
Acetyl-coa producing enzymes in yeast	Dsm Ip Assets [NL] ; Mueller Ulrike Maria [DE]
Methods and compositions for inhibiting angiotensin converting and chymase enzymes	Palu a Afa Kehaati [US] ; Su Chen [US]
Immobilization of enzymes	Novozymes [DK] ; Mazeaud Isabelle [FR]
Inhibition of brain enzymes involved in cerebral amyloid angiopathy and macular degeneration	Univ loma Linda [US] ; George Mason University [US]
Prevention and treatment of oxidative stress disorders by glutathione and phase ii detoxification enzymes	Brassica Foundation for Chemop
Use of hydrolytic and oxidative enzymes to dissolve biofilm in airway passages	Laclede Inc [US] ; Pellico Michael [US]
Strategies for designing drugs that target the sir2 family of enzymes	Univ. Johns Hopkins [US]
Malt1 specific cleavage in enzyme assay and screening method	Univ. Lausanne [CH]
Fructan biosynthetic enzymes	Stoop Johan [US]
Expansion of stem/progenitor cells by inhibition of enzymatic reactions catalyzed by the sir2 family of enzymes	Peled Tony [IL]



Methods to enhance the activity of lignocellulose-degrading enzymes	Athenix Corp [US]
Enzyme preparations	Evonik Goldschmidt GMBH [DE]

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Espacenet.

Os depositantes podem ser classificados como: companhias privadas; Universidades/Institutos de Pesquisa; Pessoas Físicas. O gráfico 1 apresenta a distribuição percentual de patentes depositadas por país depositante.

### Nº de Patentes por País Depositante

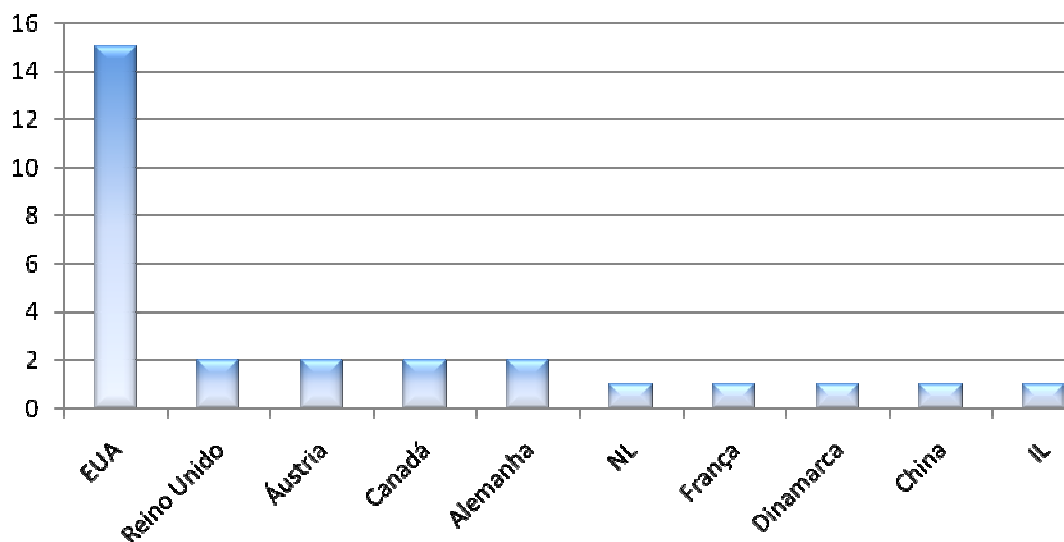


Gráfico 1 – Distribuição das patentes sobre enzimas por país depositante

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Espacenet.

Podemos observar que os EUA tem grande destaque com relação ao depósito de patentes envolvendo enzimas. É notável a ausência do Japão como país depositante de patentes, sendo muitas das grandes empresas que utilizam tecnologias enzimáticas de origem japonesa e com histórico de depósitos, principalmente no setor de alimentos. Um aspecto interessante a ser observado é a presença do Canadá, com a companhia Iogen, com desenvolvimento de enzimas para quebra de matéria lignocelulósica. A grande vantagem dos EUA pode ser explicada pela diversidade das patentes

identificadas, envolvendo elementos de pesquisa básica e aplicada, com companhias e universidades atuando em diversas frentes em termos de pesquisa em enzimas.

O gráfico 2 mostra distribuição percentual de patentes depositadas no período avaliado pelo tipo de depositante. É possível observar que, em termos de tecnologias enzimáticas, os principais investimentos em novas tecnologias ainda são provenientes de companhias privadas. Estas companhias detém o maior número de patentes depositadas em enzimas. Em seguida, aparecem as pessoas físicas, cientistas ou pesquisadores, como maiores depositantes de patentes. Em muitos casos, as companhias privadas são depositantes juntamente com pessoas físicas. Surpreendentemente, as universidades e centros de pesquisa aparecem apenas com 15% do número de patentes depositadas. Temos indicação de pesquisa prioritariamente básica, sem que exista aplicação imediata dos resultados.

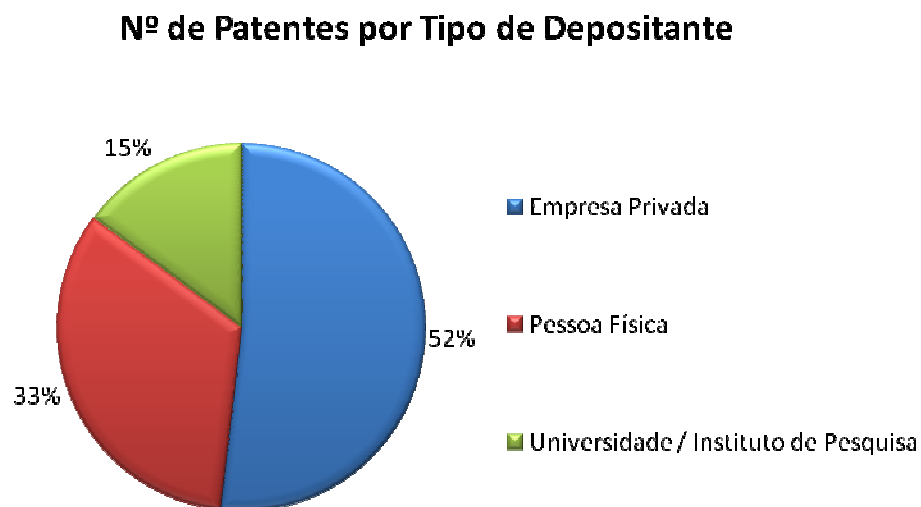


Gráfico 2 – Número de patentes sobre enzimas por depositante.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

## 4.2 - Importância dos Grupos de Pesquisa

Para uma análise a nível nacional, a Identificação de Grupos de Pesquisa em Biotecnologia é bastante interessante do ponto de vista de parcerias. Parceiros potenciais podem ser identificados a partir da base de dados do Portal do CNPq, onde informações sobre os principais grupos de pesquisa no Brasil, em diferentes áreas, podem ser encontradas. Após a criação de banco de dados, o adequado tratamento das informações fornece uma análise completa acerca dos grupos.

A identificação e análise dos grupos envolvidos com pesquisa em tecnologia enzimática é muito importante para a criação de Redes de Negócio. Este conceito envolve o mapeamento de competências dos grupos de pesquisa e empresas para posterior cruzamento de informações. Grupos com linhas de pesquisa adequadas ao negócio da empresa podem estabelecer parceria para desenvolvimento de produtos, processos ou novas aplicações para produtos existentes. Como grande parte das empresas que utilizam tecnologia enzimática estão localizadas em incubadoras técnicas, mercadológicas e

O Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq reúne informações sobre os grupos de pesquisa em atividade no País abrangendo pesquisadores, estudantes, técnicos, linhas de pesquisa em andamento, produção científica, tecnológica e artística geradas pelos grupos. Apesar de ser caracterizado por uma base de informações de preenchimento opcional, o universo abrangido pela mesma vem aumentando ao longo do tempo, podendo-se supor ter relativa representatividade da comunidade científica nacional.

(Rapini, 2007)

### 4.3 – Metodologia

A metodologia utilizada consiste na busca por grupos de pesquisa em enzimas no Brasil. A base de dados utilizada foi o Diretório de Grupos de Pesquisa no Portal do CNPq. A estratégia para obtenção do maior número de grupos com representatividade em pesquisa enzimática consiste na utilização de palavras-chave relativas ao tema. Utilizando a palavra-chave “biotecnologia” foram obtidos 530 grupos de pesquisa.

Contudo, apesar de muitos grupos identificados possuírem linhas de pesquisa relativas a enzimas, a grande maioria estava inserida em outras áreas dentro da biotecnologia.

Utilizando a palavra-chave “enzimas” no campo de busca por grupos de pesquisa foram obtidos 321 grupos. Este universo mostrou-se mais representativo em relação às pesquisas envolvendo enzimas, sendo então utilizado na construção do banco de dados para análise posterior.

O banco de dados foi criado com o objetivo de fornecer as informações necessárias para a construção do conhecimento acerca do estado da pesquisa em enzimas no Brasil, além de fornecer de maneira rápida dados para a realização de contatos com os líderes de cada grupo identificado com o intuito do estabelecimento de novas parcerias.

A seguir serão detalhados os campos criados para construção do banco de dados, incluindo os objetivos de cada campo assim como as análises potenciais esperadas.

#### *a) Nome do Grupo*

Principal identificação do grupo de pesquisa, freqüentemente indica a grande área de atuação do mesmo.

*b) Área Predominante*

Apresenta a área de atuação na qual o grupo possui maior número de linhas de pesquisa. É um parâmetro de grande importância, pois permite a identificação das principais áreas de atuação dos grupos de pesquisa em enzimas e as tendências neste sentido.

*c) Contato*

Nome do líder do grupo, utilizado para o estabelecimento de contatos futuros.

*d) Email do líder*

Email do líder do grupo, utilizado para o estabelecimento de contatos futuros. O pesquisador líder de grupo é o personagem que detém a liderança acadêmica e intelectual naquele ambiente de pesquisa. Normalmente, tem a responsabilidade de coordenação e planejamento dos trabalhos de pesquisa do grupo. Sua função aglutina os esforços dos demais pesquisadores e aponta horizontes e novas áreas de atuação dos trabalhos.

*e) Número de Pesquisadores*

Indica o número de pesquisadores presentes em cada grupo, sendo importante na determinação do tamanho e representatividade dos grupos de pesquisa em enzimas. Pode ser relacionado com as áreas de atuação para identificar tendências de tamanho dos grupos por área.

*f) Ano de Formação*

Apresenta o ano de formação dos grupos de pesquisa em enzimas, sendo fundamental para análises conjuntas de tendências para tecnologias enzimáticas, principais áreas de atuação e tipo de pesquisa desenvolvida (básica ou aplicada), além da evolução das relações dos grupos de pesquisa com o setor produtivo e o tipo de parcerias envolvidas.

*g) Atualização*

Indica o ano em que os dados sobre cada grupo de pesquisa foram atualizados. Grupos de pesquisa com atualizações periódicas fornecem análises com maior grau de confiabilidade e acerto.

*h) Instituição*

Apresenta a sigla correspondente às instituições onde os grupos de pesquisa estão localizados. Importante na determinação das instituições mais atuantes em pesquisas envolvendo enzimas e suas projeções, além das áreas privilegiadas em cada uma delas e o número de relações com o setor produtivo por instituição no que se refere à pesquisa envolvendo enzimas.

*h) Tipo de Instituição*

Apresenta a classificação de cada instituição quanto ao..... Fundamental para identificação das principais esferas governamentais envolvidas na pesquisa em enzimas, além do investimento proveniente do setor privado. Utilizado para comparação de investimentos em pesquisa entre as universidades e centros de pesquisa.

*i) Número de Linhas de Pesquisa*

Parâmetro importante para determinação do tamanho e níveis de atuação dos grupos em pesquisa envolvendo enzimas.

*j) Linhas de Pesquisa*

Permitem a identificação do foco (pesquisa básica, processos, novas aplicações, desenvolvimento de produtos) das linhas de pesquisa dos grupos, além de informações relevantes como os tipos de microorganismos e enzimas utilizados. A linha de pesquisa representa temas aglutinadores de estudos científicos que se fundamentam em tradição investigativa, de onde se originam projetos cujos resultados guardam afinidades entre si.

*k) Repercussões dos Trabalhos do Grupo*

Apresenta uma descrição das principais atividades do grupo, seus objetivos e projetos desenvolvidos. Útil na identificação de parcerias estabelecidas, aspectos técnicos das linhas de pesquisa desenvolvidas e algumas das dificuldades encontradas pelos pesquisadores em suas respectivas áreas.

*l) Relações com o Setor Produtivo*

As relações com o setor produtivo são fundamentais para identificar os grupos mais atuantes neste sentido, os tipos de organizações envolvidas nas parcerias e suas áreas de atuação, os projetos desenvolvidos preferencialmente, assim como a origem dos recursos utilizados. Estas informações são essenciais para identificação de parceiros potenciais.

## **4.4 - Resultados**

As informações disponibilizadas no Diretório não permitem identificar o grau de relevância ou importância atribuída a cada tipo relacionamento em um primeiro momento. As análises decorrentes são baseadas, prioritariamente, na soma dos tipos de relacionamentos em cada item estudado, além da participação relativa dos mesmos em cada conjunto de investigação.

### **4.4.1 - Grandes Áreas e Localização dos Grupos de Pesquisa**

Uma análise das Grandes Áreas dos grupos de pesquisa em biotecnologia permite a identificação dos setores mais favorecidos, e a investigação das linhas de pesquisa relacionadas com estes setores torna possível a identificação de tendências na pesquisa em biotecnologia no país, e com isso, das áreas mais promissoras.

O gráfico 3 apresenta a distribuição percentual das Grandes Áreas dos grupos de pesquisa em biotecnologia.

### Grandes Areas dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia

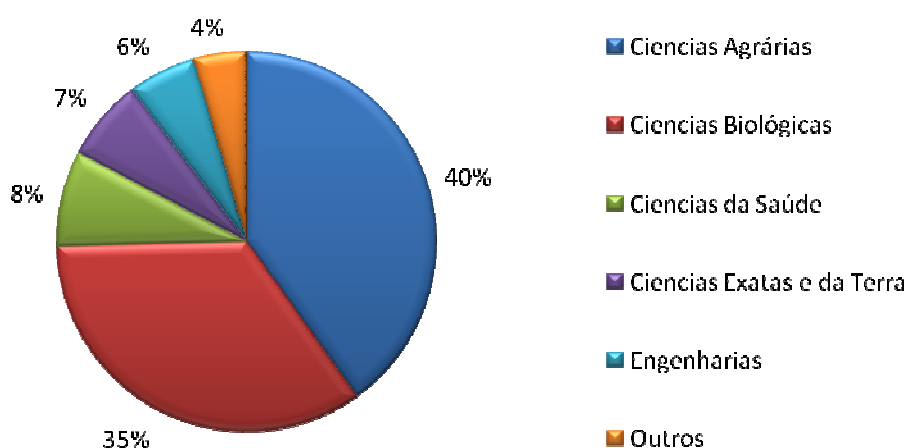


Gráfico 3: Distribuição percentual das Grandes Áreas dos grupos de pesquisa em biotecnologia

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

É interessante observar que a principal área do conhecimento de inserção para os grupos de pesquisa em biotecnologia é a de Ciências Agrárias, com 207 grupos. Outro aspecto importante consiste na pequena quantidade de grupos presentes na área relativa às engenharias, com apenas 30 grupos. Temos indicação de que a pesquisa em biotecnologia se dá prioritariamente a nível básico, enquanto que o desenvolvimento de processos biotecnológicos permanece insipiente.

Esta indicação é reforçada pelo fato de que as principais áreas de inserção dos grupos estejam bastante relacionadas à pesquisa básica. Uma análise posterior em relação ao ano de criação dos grupos pode ser fundamental na determinação das tendências dos grupos de pesquisa em biotecnologia no país. Para tanto será feita uma análise conjunta utilizando o ano de criação do grupo e sua área de inserção.



Uma análise dos grupos de pesquisa em biotecnologia por região do país mostra que a maior concentração destes grupos ocorre na região sudeste, conforme é possível observar no gráfico 4.

#### Grupos de Pesquisa em Biotecnologia por Região

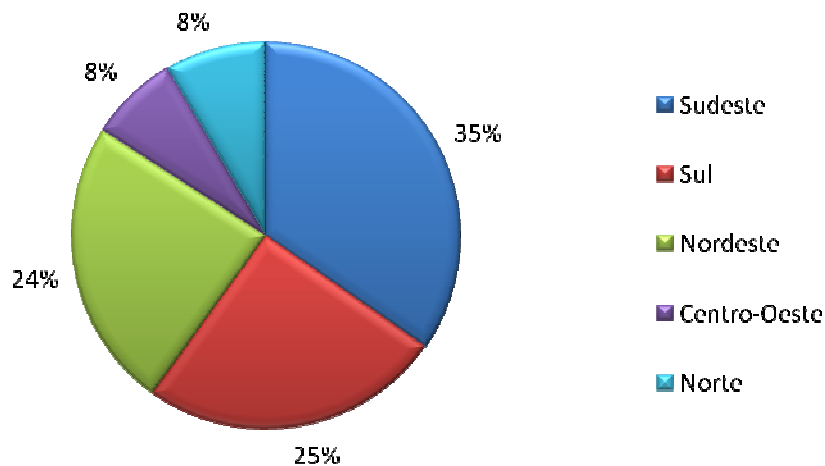


Gráfico 4: Distribuição percentual dos grupos de pesquisa em biotecnologia por região geográfica.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Vale ressaltar a proximidade existente entre as regiões Sul e Nordeste em relação à presença de grupos de pesquisa, com 25% e 24% dos grupos, respectivamente. Finalmente temos as regiões Centro-Oeste e Norte, cada uma delas com 8% dos grupos de pesquisa em biotecnologia. A presença prioritária de grupos de pesquisa na região sudeste ocorre devido ao grande número de instituições de pesquisa na região, que detém algumas das principais universidades do país.

Uma análise da distribuição dos grupos em biotecnologia no país por Unidade Federativa indica os estados onde existe maior incentivo e concentração de pesquisas relacionadas ao tema, sendo fundamental para a criação de mapas de conhecimento em biotecnologia no país. A distribuição do total de grupos de pesquisa em biotecnologia nos estados brasileiros é apresentada no gráfico 5.

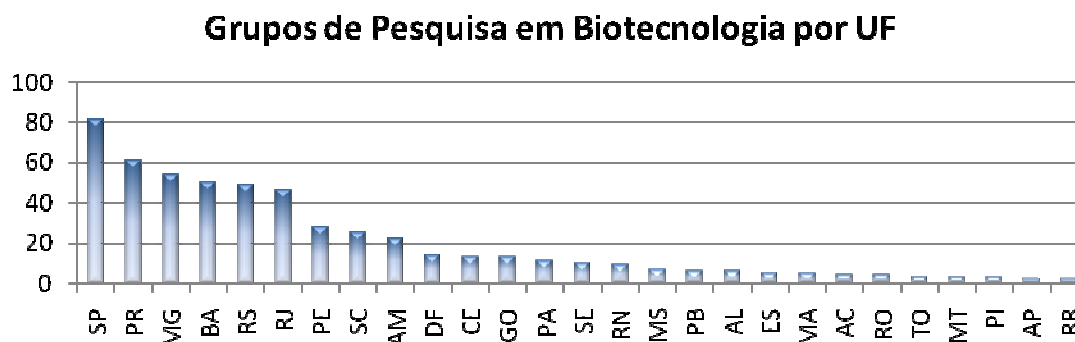


Gráfico 5: Distribuição dos grupos de pesquisa em biotecnologia por Estados

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Confirmando a análise por região, o principal estado detentor de grupos de pesquisa em biotecnologia é São Paulo. No entanto, o segundo estado com maior número de grupos de pesquisa é o Paraná, com 61 grupos. O estado do Rio de Janeiro aparece apenas em sexto lugar. Fica evidente neste caso a presença marcante de estados da Região Sul do país na pesquisa em biotecnologia, o que é ratificado pelo fato de as Ciências Agrárias representarem a principal área de pesquisa desses grupos. Na região Nordeste, podemos destacar o estado da Bahia, com 50 grupos de pesquisa em biotecnologia, aparecendo a frente de estados como o Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro.

O cruzamento destes dados com as linhas de pesquisa existentes nas instituições pode ser utilizado para determinarmos as características inerentes a cada estado no que se refere à pesquisa em biotecnologia, permitindo o direcionamento dos contatos a serem realizados para desenvolvimento de projetos em parceria.

Apesar de abranger um grande número de grupos de pesquisa a palavra-chave utilizada não apresenta a representatividade desejada para o estudo em relação às tecnologias enzimáticas, o que pôde ser verificado a partir da identificação das linhas

de pesquisa dos grupos. A maioria esmagadora das linhas de pesquisa trata de assuntos que não estão relacionados às tecnologias enzimáticas.

Para que resultados mais específicos fossem atingidos foi utilizada a palavra-chave “enzimas” no campo de busca de grupos de pesquisa. Foram obtidos 321 grupos, e sua distribuição nas grandes áreas do conhecimento pode ser observada no gráfico 6.

### Grandes Áreas dos Grupos de Pesquisa - Enzimas

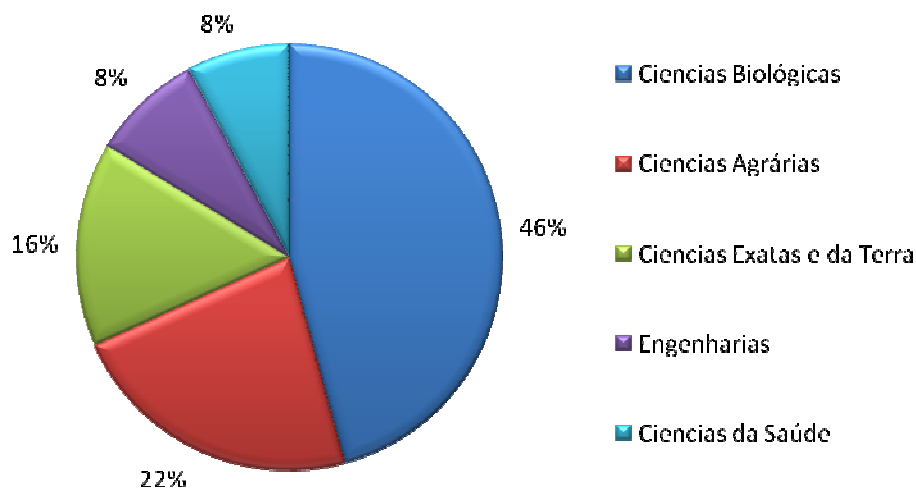


Gráfico 6: Distribuição percentual dos grupos de pesquisa em enzimas por Grandes Áreas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Em relação à inserção dos grupos de pesquisa em enzimas nas grandes áreas, quando comparada aos grupos de pesquisa em biotecnologia, podemos observar uma maior representatividade das Engenharias, com 27 grupos dentre o total. Contudo, os grupos em ciências biológicas aparecem em destaque, com 147 do total. Temos indicação de pesquisa com maior foco em aplicações em relação ao caso anterior. Vemos uma inversão de posições entre as áreas de Ciências Biológicas e Ciências Agrárias de compararmos as duas metodologias de busca utilizadas, contudo, ambas permanecem como as principais áreas de pesquisa.

Outro aspecto importante para avaliação é a localização das instituições onde estão presentes os grupos de pesquisa. Com esta determinação podemos gerar mapas de conhecimento em relação às tecnologias enzimáticas no país. O gráfico 7 apresenta a distribuição dos grupos por região.

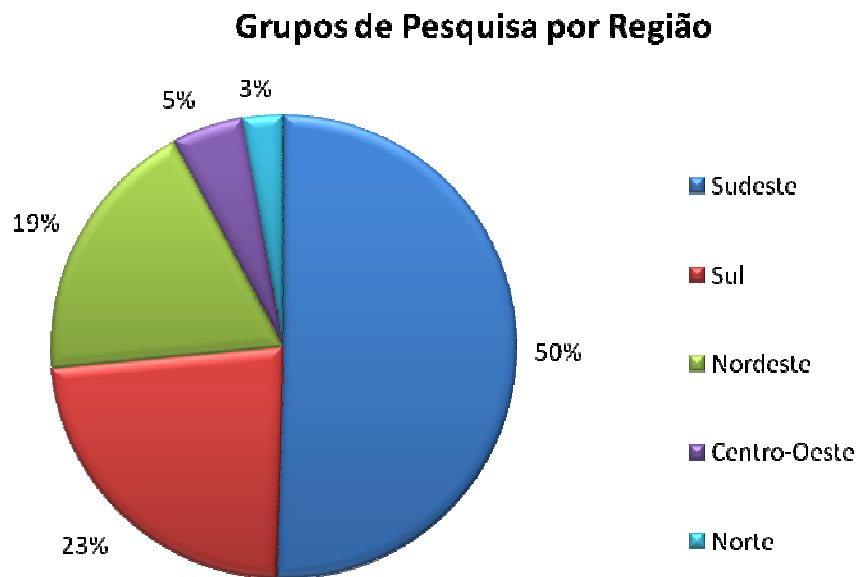


Gráfico 7 – Distribuição percentual dos grupos de pesquisa em enzimas por região

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

A Região Sudeste detém cerca de 50% dos grupos de pesquisa em enzimas no país, com 162 grupos. A Região Sul vem a seguir, com 74 grupos. É interessante observar o aumento de 15% na representatividade da Região Sudeste quando comparamos as duas metodologias de busca. A região Norte, apesar da biodiversidade regional existente, possui a menor representatividade dentre todas, com apenas 9 grupos de pesquisa.

Para efeito de comparação identificamos a distribuição regional de todos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPq ao longo dos anos. A tabela 18 mostra a distribuição percentual.

Tabela 18 - Distribuição percentual dos grupos de pesquisa segundo a região - 1993-2006.

<b>Região</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>
Sudeste	68,5	69,2	65,6	57,3	51,8	52,4	50,4
Sul	15,7	14,8	17,2	19,7	24	23,5	23,6
Nordeste	9,9	9,8	11,4	14,6	15	14,2	15,5
Centro-Oeste	4,2	4,2	4	5,4	5,3	5,9	6,1
Norte	1,7	2,0	1,8	3	3,9	4,0	4,4
<b>Brasil</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: CNPq, 2006

Observamos que, apesar da diminuição percentual na região sudeste ao longo dos anos, em 2006 cerca de 50% de todos os grupos localiza-se na região, mesmo valor encontrado levando-se em consideração os grupos de pesquisa identificados com a metodologia adotada neste trabalho. Neste caso não observamos disparidades significativas em termos de distribuição regional de grupos de pesquisa. A redução da representatividade da região sudeste ao longo dos anos ocorre principalmente devido ao crescimento na formação de grupos de pesquisa nas regiões sul e nordeste.

Diferentemente de quando utilizamos a palavra-chave “biotecnologia” para identificação de grupos de pesquisa, quando utilizamos “enzimas” obtivemos resultado bem próximo ao CNPq em relação à distribuição regional, indicando que o tema “enzimas” não influenciou uma modificação na distribuição de grupos nas regiões do país.

Através da análise regional foi possível identificar a presença dos grupos de pesquisa presentes neste trabalho nas unidades federativas do país, conforme apresentado no gráfico 8.

Março de 2009

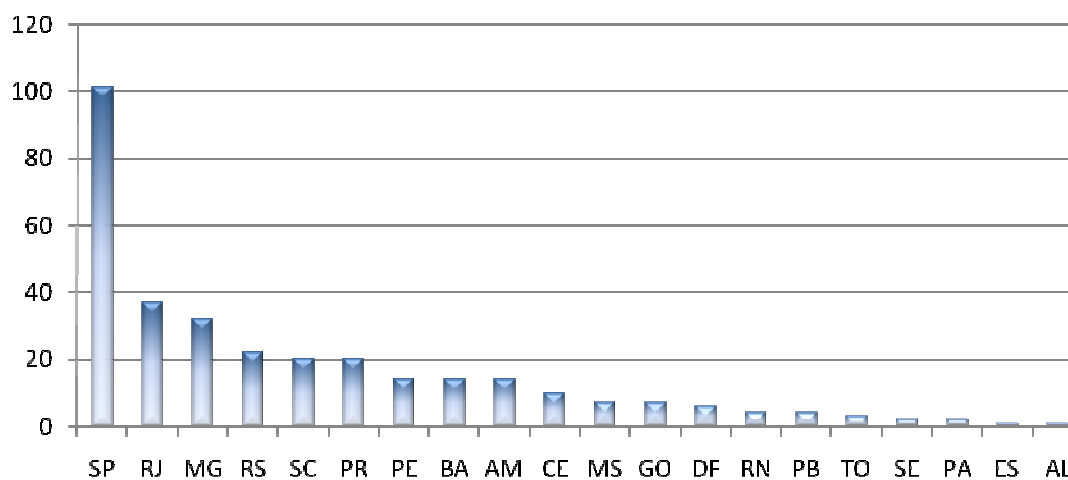


Gráfico 8 – Distribuição dos grupos de pesquisa em enzimas por Estado

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Podemos observar que o estado de São Paulo possui grande representatividade no que se refere à pesquisa em enzimas, com cerca de 30% dos grupos de pesquisa identificados. Diferentemente do que ocorre em relação aos grupos de pesquisa em biotecnologia, neste caso o Rio de Janeiro aparece como segundo estado da federação com maior número de grupos. Os estados da Região Sudeste, com exceção do Espírito Santo, detêm a grande maioria dos grupos de pesquisa identificados através da metodologia adotada.

#### 4.4.2 – Áreas de Atuação dos Grupos de Pesquisa

A identificação das Áreas de atuação dos grupos de pesquisa é importante para que se tenha conhecimento do foco da pesquisa realizada. Faz-se necessário, porém, aumentar o grau de detalhamento para que seja possível extrair mais informações em relação as áreas de pesquisa. Com esse intuito, identificamos as principais áreas cadastradas dos grupos de pesquisa em enzimas no Brasil. Vale lembrar que esta é a área na qual estão presentes as linhas de pesquisa dos grupos.

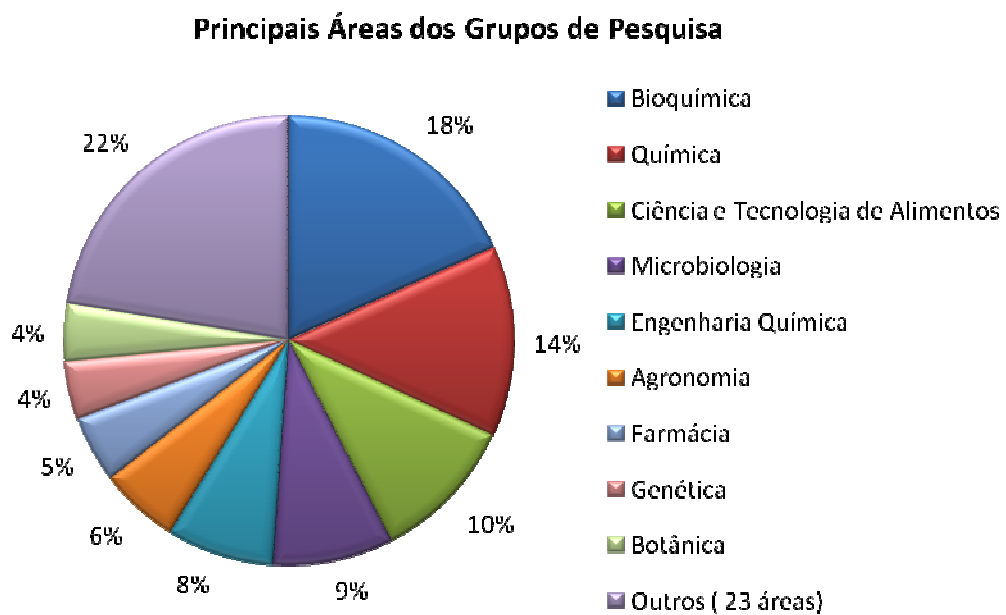


Gráfico 9 – Distribuição dos grupos de pesquisa em enzima por área de atuação

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

De acordo com o gráfico 9, a Bioquímica é a principal área onde são desenvolvidas as linhas de pesquisa dos grupos identificados. As principais aplicações de enzimas estão relacionadas com as principais áreas identificadas, inclusive a Ciência e Tecnologia de Alimentos. Vimos na análise de mercado prévia que esta é a segunda maior área de aplicações para enzimas industriais, com cerca de 37% do mercado. A Engenharia Química aparece entre as principais áreas, indicando a possibilidade de ocorrência de pesquisa em enzimas com foco industrial.

As duas principais áreas identificadas apresentam grande diversidade em relação ao tipo de pesquisa desenvolvida. Tanto a Bioquímica quanto a Química, além de intimamente ligadas, podem abordar aspectos envolvendo enzimas para aplicações industriais e enzimas especiais para os setores envolvendo fármacos, diagnósticos e pesquisa básica.

Temos uma indicação de que as áreas dos grupos de pesquisa identificados que envolvam enzimas estão em sintonia com muitos dos aspectos de mercado apresentados, tanto para enzimas especiais quanto para as industriais.

A grande diversidade de áreas identificadas corrobora com o fato dos biocatalisadores apresentarem uma grande diversidade de aplicações. Dentre as 32 áreas, observamos que existem oportunidades para estabelecimento de parcerias envolvendo companhias provenientes de diferentes setores da economia.

#### **4.4.3 – Número de Pesquisadores por Grupo de Pesquisa**

A análise do número de pesquisadores por grupo de pesquisa é importante para verificar o nível de estruturação dos grupos e a intensidade em pesquisa. Um maior número de pesquisadores permite maior desenvolvimento tecnológico, com maior número de linhas de pesquisa. É também um indicador da intensidade de investimentos em pesquisa em determinada área. O gráfico 10 apresenta a distribuição do número de pesquisadores por grupos de pesquisa.



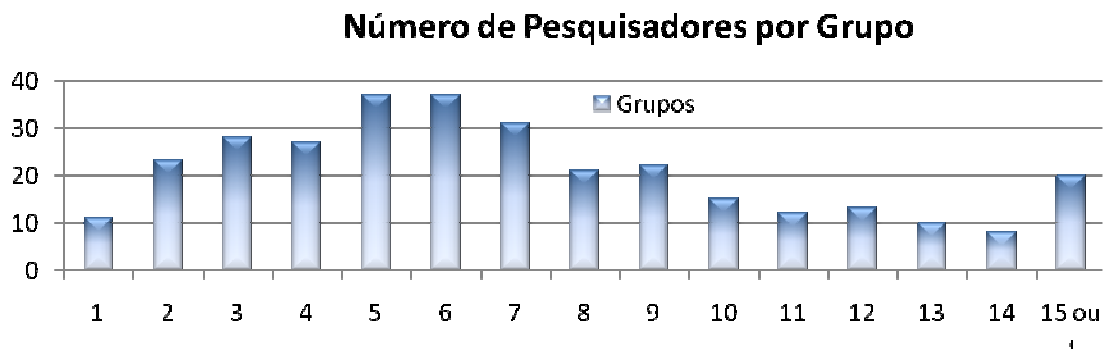


Gráfico 10 – Número de pesquisadores por grupo de pesquisa em enzimas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Podemos observar que o número de pesquisadores por grupo apresenta distribuição estatística aproximadamente normal. Os valores de pesquisadores por grupo com maiores freqüências são 5 e 6. É interessante observar que temos 20 grupos de pesquisa, dentre os 315 identificados, com mais de 15 pesquisadores. O grupo com maior número de pesquisadores é o Instituto do Milênio, localizado na UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. O grupo possui 22 linhas de pesquisa envolvendo desenvolvimento e inovação em fármacos e medicamentos. Outro aspecto a ser ressaltado é a uniformidade de resultados quando comparamos a análise do número de pesquisadores em grupos de pesquisa em enzimas e em relação a todos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPQ. De acordo com resultados do censo realizado em 2006, a distribuição do número de pesquisadores fica bastante próxima em ambos os casos. No entanto, observamos que os grupos de pesquisa em enzimas apresentam maior média de pesquisadores por grupo (7,3) em relação aos grupos de pesquisa em geral (6,6).

#### 4.4.4 – Ano de Formação dos Grupos de Pesquisa

A identificação do ano de formação dos grupos de pesquisa permite avaliar a evolução da estruturação dos grupos ao longo do tempo. Com isso, temos informações a respeito dos investimentos em pesquisa e sobre o nível de aprendizagem tecnológica. A ocorrência de muitos grupos formados há tempos pode indicar grande geração de conhecimento dentro da área de pesquisa.

O gráfico 11 retrata o ano de formação dos grupos de pesquisa identificados através da metodologia adotada.

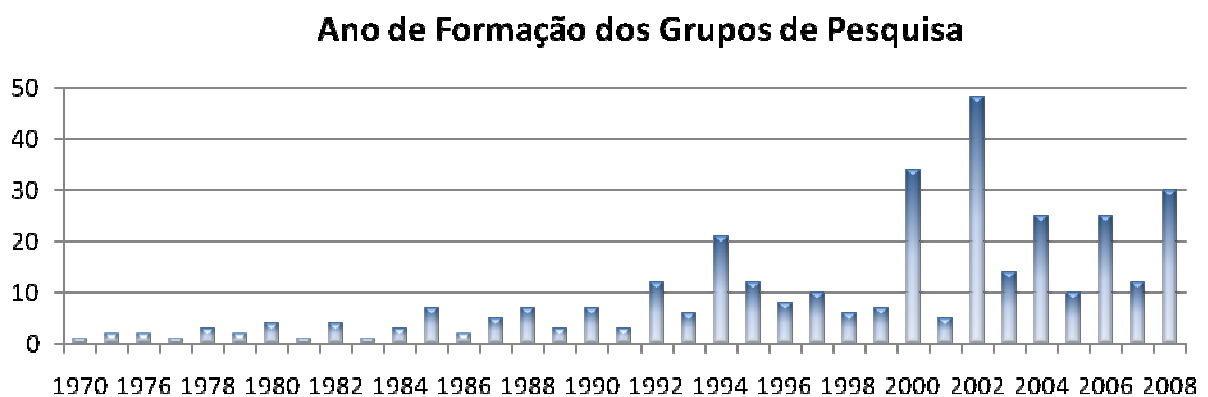


Gráfico 11 – Ano de formação dos grupos de pesquisa em enzimas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observa-se um grande crescimento na formação de novos grupos de pesquisa década a década, indicando que as pesquisas em relação às tecnologias enzimáticas estão em pleno desenvolvimento. O lançamento de novos produtos e o surgimento de novas aplicações para enzimas além do fato de que muitos dos produtos existentes no mercado não atingiram a maturidade no ciclo de vida contribuem para o estímulo à formação crescente de novos grupos de pesquisa. Outro fator decisivo neste caso é a existência de linhas de financiamento disponibilizadas pelas instituições de fomento à pesquisa voltadas para a biotecnologia. Algumas das empresas parceiras de grupos de pesquisa se utilizam destes recursos para o desenvolvimento de novos projetos. Há de

ressaltar que a biotecnologia é, atualmente, considerada um setor estratégico dentro do Programa de Desenvolvimento Produtivo do governo brasileiro.

A tabela 19 apresenta a evolução na formação de grupos de pesquisa em enzimas década a década:

Tabela 19 – Evolução na formação dos grupos de pesquisa em biotecnologia por década

Período	Grupos Formados
1970 – 1980	11
1980 – 1990	37
1990 – 2000	92
2000 – 2008	202

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observamos que ocorreu um crescimento de cerca de 18 vezes na formação de grupos de pesquisa entre a década de 1970 – 1980 e o período entre 2000 – 2008. Apesar do número reduzidos de pontos, foram feitas aproximações para projetar o número de grupos de pesquisa formados ao longo do tempo. Para uma aproximação polinomial de grau três foi encontrada uma projeção de cerca de 350 grupos de pesquisa até o final do ano de 2010. Dessa forma, é importante que exista um monitoramento periódico dos grupos para armazenamento das informações atualizadas em banco de dados de maneira que se tenha um melhor direcionamento na identificação de parceiros potenciais.

Para avaliar as tendências em relação a determinadas áreas do conhecimento identificadas, foram construídos os gráficos 12 a 15 que apresentam a formação de grupos de pesquisa no decorrer dos anos para diferentes áreas do conhecimento.

### Nº Grupos de Pesquisa Formados - Eng. Química

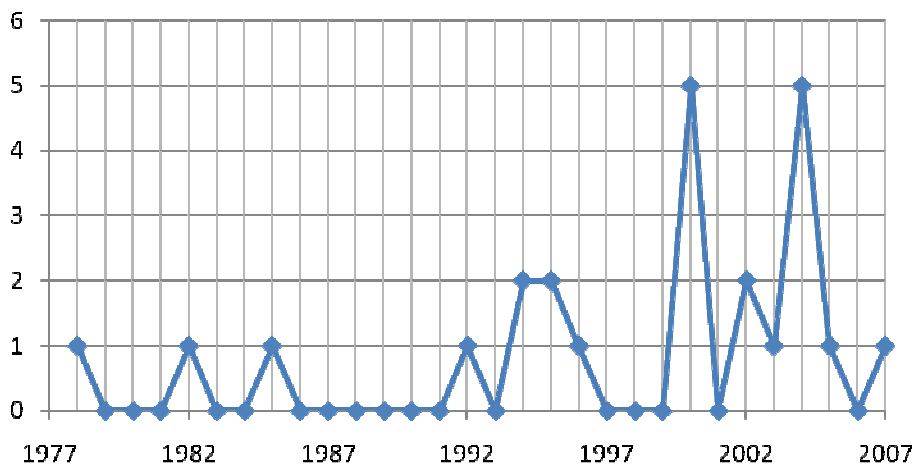


Gráfico 12 – Frequência de formação de grupos de pesquisa em enzimas na área de Engenharia Química

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Dentre os grupos presentes no universo deste estudo, a formação de grupos em engenharia química teve crescimento significativo apenas a partir do ano 2000, ano de maior formação de grupos juntamente com o ano de 2004. Uma provável explicação para este aumento a crescente utilização industrial de enzimas, além do fato deste tipo de pesquisa ser bastante recente.

**Nº Grupos de Pesquisa Formados - Alimentos**

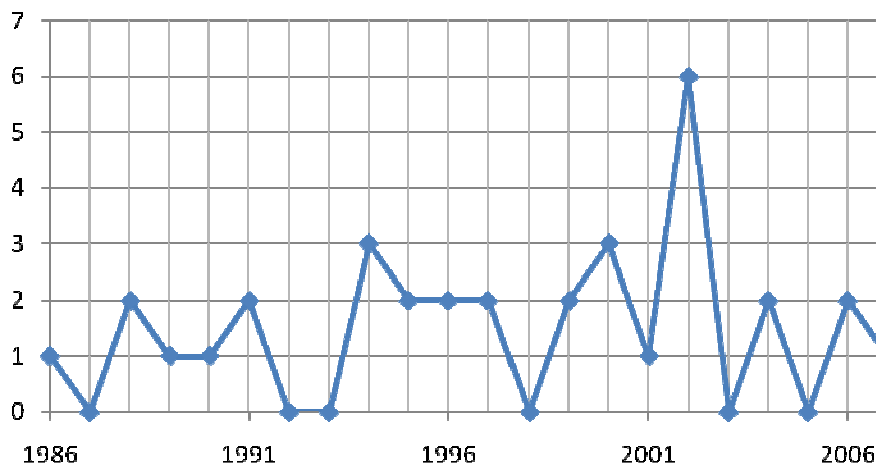


Gráfico 13 – Frequência de formação de grupos de pesquisa em enzimas na área de Alimentos

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

No caso da formação de grupos de pesquisa que declararam pertencer à área de alimentos, não observamos um crescimento nos últimos anos, com exceção do ano de 2002, com a formação de 6 grupos de pesquisa.

**Nº de Grupos de Pesquisa Formados - Agronomia**

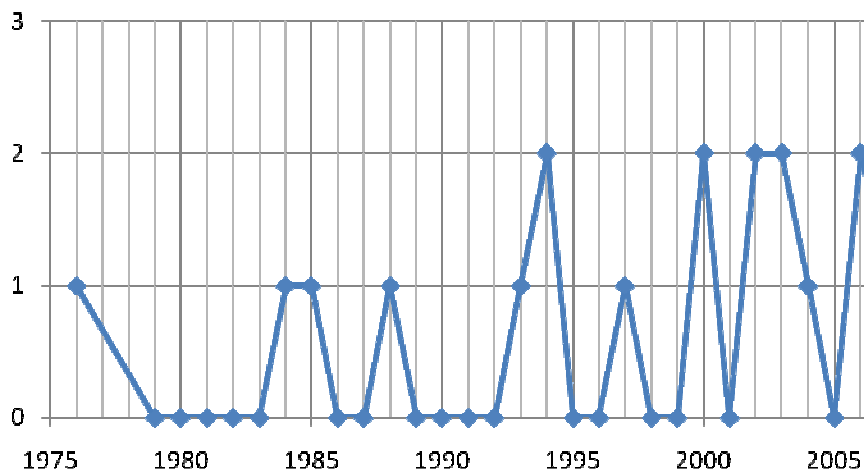


Gráfico 14 – Frequência de formação de grupos de pesquisa em enzimas na área de Agronomia

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Em relação à formação de grupos de pesquisa em agronomia podemos observar uma tendência de crescimento nos últimos anos, apesar da não formação em anos recentes como 2001 e 2005.

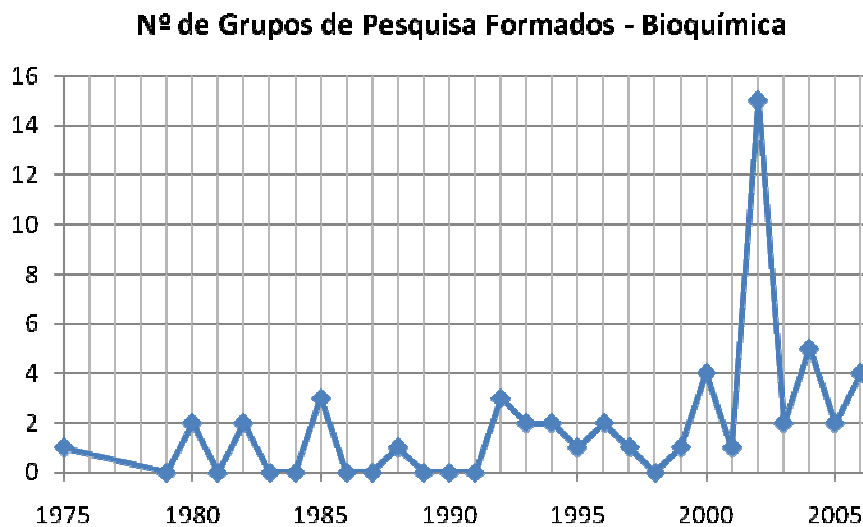


Gráfico 15 – Frequência de formação de grupos de pesquisa em enzimas na área de Bioquímica

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observamos uma tendência de crescimento na formação de grupos em bioquímica, principal área identificada, nos últimos anos, com destaque para o anos de 2002, onde foram formados 15 grupos de pesquisa.

Em geral, temos uma crescente formação de grupos envolvendo pesquisa em enzimas. É válido notar que o crescimento ocorre em diferentes áreas, inclusive em áreas com foco em pesquisa aplicada, como a engenharia química, por exemplo, indicando a existência de boas perspectivas para o surgimento de produtos e processos inovadores envolvendo enzimas.

#### 4.4.5 – Instituições de Localização dos grupos de Pesquisa

Com o intuito de avaliar o caráter das instituições onde estão localizados os Grupos de Pesquisa foi feita uma análise do Tipo de Instituição. Foram identificados 5 Tipos de Instituição dada a classificação do CNPQ. O gráfico 16 mostra a distribuição percentual do Tipo de Instituições onde estão localizados os Grupos de Pesquisa.

**Tipo de Instituição de Localização dos Grupos de Pesquisa**

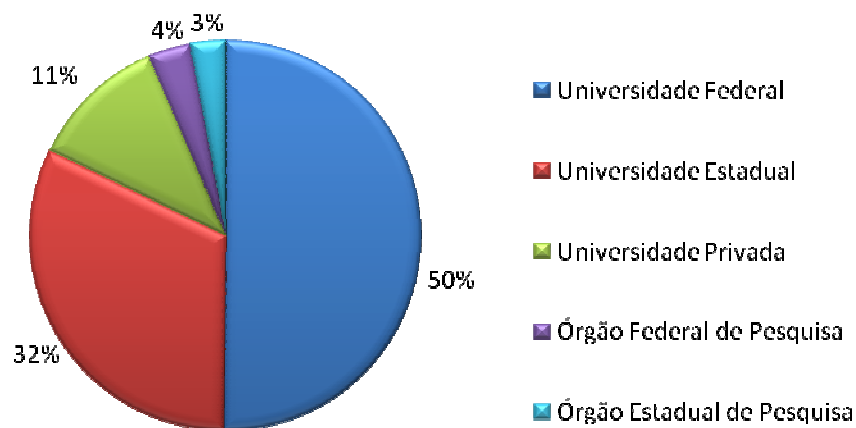


Gráfico 16 – Distribuição percentual dos grupos de pesquisa em enzimas por tipo de instituição

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Podemos observar que todos os Grupos de Pesquisa em enzimas cadastrados na base do CNPQ estão localizados em universidades e órgãos de pesquisa. Dentre as instituições identificadas, a principal localização dos Grupos de Pesquisa é a Universidade Federal. Dentre as universidades estaduais temos grande destaque da USP, como detentora de grande parte dos Grupos de Pesquisa. As universidades privadas possuem apenas 11 Grupos de Pesquisa, um número bastante inferior em relação às universidades públicas.

Observamos que a universidade possui fundamental importância para aumento do conhecimento científico e contribuição ao processo tecnológico uma vez que estas instituições aparecem como principal fonte de geração deste conhecimento.

Um importante aspecto a ser estudado dentro da análise de grupos de pesquisa é a identificação das instituições de localização dos grupos. No total, foram identificadas 96 instituições detentoras de grupos de pesquisa dentro do universo avaliado.

O gráfico 17 retrata a distribuição percentual das principais instituições de localização dos grupos de pesquisa identificadas.

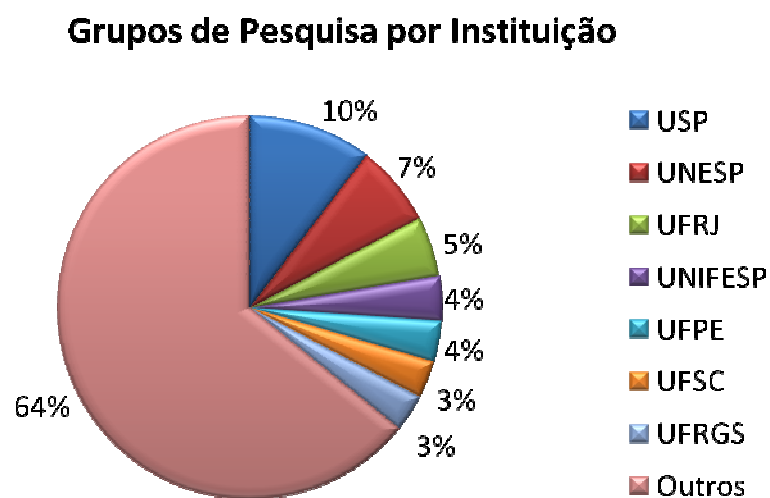


Gráfico 17– Distribuição percentual dos grupos de pesquisa em enzimas por instituição

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observamos que a Universidade de São Paulo detém 10% dos grupos de pesquisa identificados com a metodologia adotada. A Universidade Federal do Rio de Janeiro aparece em terceiro lugar em número de grupos de pesquisa, com apenas a metade dos grupos presentes na USP. Vale ressaltar que dentre as sete principais universidades identificadas apenas a UFRJ está localizada no Rio de Janeiro, o que mostra a hegemonia da instituição no estado. Comprovamos também a presença marcante das universidades do estado de São Paulo, assim como a presença das universidades dos estados da região sul. Dentre as regiões de menor



representatividade identificadas anteriormente destacamos a Universidade Federal de Pernambuco entre as principais no que se refere à presença de grupos de pesquisa em enzimas, que aparece com maior representatividade em número de grupos que as universidades Federais de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul.

Um aspecto a ser ressaltado é a ocorrência de muitas instituições detentoras de um pequeno número de grupos de pesquisa cada, resultando em um total de 64% dos grupos.

A tabela 20 lista todas as instituições de localização dos grupos de pesquisa identificadas. A relação completa com os nomes das instituições foi incluída no banco de dados contendo todas as informações relativas aos 315 grupos de pesquisa identificados.

Tabela 20 - Instituições que abrigam grupos de pesquisa em enzimas

UFAM	UFCG	FIOCRUZ	FELA
UFC	MACKENZIE	UTFPR	IBT
UFMS	UFT	UPE	FFFCMPA
UFRRJ	UEL	UNINOVE	IPA-PE
UEFS	UCS	UNISC	UECE
UEL	UFRB	FUNED	PUC-PR
UFG	UFF	UNIVALI	UBC
UFLA	FURB	UVA-CE	INT
UFPE	INPA	UNESC	UEG
UFPR	UFSM	UFBA	UERN
UFRGS	UFPEL	UFMG	UFSJ
UFRJ	UNIOESTE	UFU	UNEB
UFSC	UNIRARARAS	UFPB	UNIP
UFSCAR	UNICAP	UFRN	UNICEP
UFV	UNIFAL/MG	ULBRA	UFS
UNB	UNIFEI	UFPA	UNIPAR
UNESP	UNISUL	UMC	CEFET/CE
UNICAMP	UNIMEP	UFVJM	UTAM
UNIFESP	UNIVÁS	UMESP	UESC
USP	URI	UFAL	UESB
UEM	UNIT	EMBRAPA	UENF
UERJ	UNOCHAPECO	FAENQUIL	UEA

Março de 2009

UCB-DF	INCAPER	IBT	FURG
IPT	IBU	IB	FAMERP

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

#### 4.4.6 – Análise de Linhas de Pesquisa

A análise das linhas de pesquisa está entre os principais aspectos para obtenção de aspectos conclusivos em relação ao estudo. Uma avaliação das linhas de pesquisa desenvolvidas pelos grupos permite a identificação das áreas prioritárias de estudo, assim como uma indicação das tendências das tecnologias enzimáticas.

Uma mesma linha de pesquisa pode tratar de produção, aplicação ou processo envolvendo enzimas.

No total, foram identificadas 1749 linhas de pesquisa, com uma média de 5,55 linhas de pesquisa por grupo. A identificação específica das linhas de pesquisa em enzimas é de grande importância para que se tenha uma idéia exata das tecnologias enzimáticas envolvidas nas parcerias e a definição do tipo de pesquisa desenvolvida: básica; aplicada. Entretanto a apresentação de tais resultados foge ao escopo deste trabalho, uma vez que os principais objetivos são a apresentação do cenário envolvendo enzimas com exploração de aspectos mercadológicos e tecnológicos, estudados através da análise de grupos de pesquisa em enzimas no Brasil.

O gráfico 18 apresenta a distribuição de freqüência do número de linhas de pesquisa identificadas:

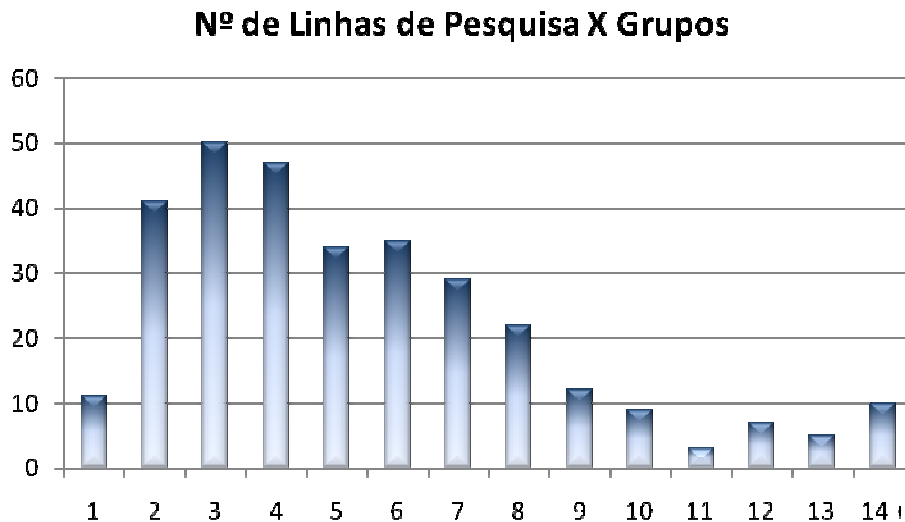


Gráfico 18 – Freqüência do número de linhas de pesquisa por grupo

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observamos que é mais comum a ocorrência de grupos de pesquisa com três linhas de pesquisa dentro do universo de estudo. O número de linhas de pesquisa varia grandemente com o tamanho do grupo, ou seja, o número de pesquisadores presentes. Como a maioria dos grupos foi formada recentemente, de acordo com análise prévia do ano de formação, um pequeno número de linhas de pesquisa por grupo é esperado.

Em se tratando de linhas de pesquisa especificamente relacionadas a enzimas, foram identificadas 197, cerca de 11% do total. A análise das linhas de pesquisa em enzimas é fundamental para o direcionamento das ações em relação ao estabelecimento de parcerias.

As linhas de pesquisa envolvendo enzimas abrangem diferentes setores, envolvendo enzimas industriais e especiais. Dentre as linhas de pesquisa envolvendo enzimas especiais podemos destacar a aplicação em diagnósticos e fins terapêuticos, dentre outros.

As linhas de pesquisa envolvendo enzimas industriais tratam da grande maioria das aplicações abordadas anteriormente na seção de mercado. A identificação dos mercados mais promissores e dos grupos que desenvolvem linhas de pesquisa envolvendo enzimas industriais permite o direcionamento das ações para criação de novos negócios. Algumas das principais linhas de pesquisa identificadas com aplicações industriais estão listadas a seguir:

1. Utilização de enzimas no branqueamento de polpas celulósicas
2. Tratamento enzimático de efluentes
3. Enzimas do amadurecimento de vegetais
4. Produção, purificação e aplicação de enzimas na indústria de alimentos
5. Produção de enzimas em Fermentadores
6. Clarificação e estabilização de sucos de frutas por enzimas
7. Produção de enzimas degradadoras da biomassa vegetal
8. Hidrólise enzimática de material lignocelulósico
9. Antioxidantes enzimáticos
10. Reatores enzimáticos

Além das linhas listadas, muitas linhas de pesquisa identificadas em enzimas tratam da imobilização dos biocatalisadores para inúmeras aplicações, sendo o tema largamente estudado pelos pesquisadores.

Um aspecto importante a ser ressaltado é a existência de muitas linhas de pesquisa envolvendo enzimas celulasas, utilizadas na degradação de matéria-prima lignocelulósica e em diversas outras aplicações, representando uma área de grande

potencial para a criação de novos negócios a partir de parcerias formadas entre os grupos de pesquisa e instituições privadas.

Através da metodologia utilizada foi possível identificar inúmeras linhas de pesquisa em enzimas que tratam de diferentes aplicações, processos e produtos. Muitas das linhas de pesquisa, no entanto, tratam de aspectos mais gerais da pesquisa em enzimas, não sendo possível a identificação exata do objeto de estudo em alguns casos.

#### **4.4.7 - Repercussões dos Grupos**

Muitas dos aspectos envolvidos nas parcerias podem ser identificados a partir das repercussões dos grupos de pesquisa. As repercussões apresentam muitas das realizações dos grupos de pesquisa e seus objetivos. É interessante notar que muitos grupos colocam a necessidade de envolver outras partes (sociedade e instituições) no processo de desenvolvimento científico, porém, observamos um baixo número de parcerias formadas.

Nas repercussões dos grupos de pesquisa foram identificadas diversas aplicações das enzimas. A utilização de enzimas na indústria de papel e polpa, principalmente para o branqueamento do papel e polpa pode ser destacada, além do tratamento enzimático de matérias-primas para a de indústria de alimentos e tratamento de lignocelulósicos.

Foram identificadas aplicações de enzimas no setor de fármacos e estudo de diferentes formas enzimáticas para macromoléculas biológicas para desenvolvimento de biosensores. Outro aspecto interessante é a avaliação da eficiência das enzimas imobilizadas por meio de reações de esterificação e transesterificação para obtenção de aromas, flavorizantes, biocombustíveis e monoglicérides.

Além da identificação específica da pesquisa em enzimas realizada pelos grupos de pesquisa, o item relacionado às repercussões apresenta, em alguns casos, as fontes de financiamento de pesquisa para determinados grupos. Dentre as instituições com maior frequência de citações destacam-se FINEP, CAPES e CNPq, além de outras instituições como FAPESP e SENAI, por exemplo.

## **Capítulo 5 – Análise das Parcerias**

### **5.1 – Relações de Grupos de Pesquisa com o Setor produtivo**

A análise das parcerias envolvendo grupos de pesquisa e instituições representa um dos tópicos de maior importância deste trabalho. Visando extrair informações valiosas a respeito das parcerias envolvendo instituições e grupos de pesquisa que tenham algum tipo de relação com pesquisas em enzimas foram identificados, após construção do banco de dados, os grupos de pesquisa que possuíam relações com o setor produtivo.

Dentre os cerca 19470 grupos de pesquisa cadastrados no Diretório do CNPq em 2004, 2.151 grupos, equivalentes a 11,1% do total, relataram algum tipo de relacionamento com empresas. Observa-se que duas grandes áreas do conhecimento concentram mais de 60% do total dos relacionamentos dos grupos de pesquisa com empresas, sendo elas as áreas de Engenharias (44%) e Ciências Agrárias (22%). O primeiro caso é de alguma forma esperado, visto abranger áreas de tradicional proximidade com as práticas industriais. O segundo, por sua vez, reflete a especialização nacional em agroindústria, especificidades da difusão da tecnologia e incentivos públicos de longo prazo para o desenvolvimento da agricultura. (Rapini, 2007)

Há também significativas interações dos grupos de pesquisa nas Grandes Áreas de Ciências Exatas e da Terra e Ciências Biológicas, com respectivamente 11,7% e 8,3% do total dos relacionamentos.

O gráfico 19 apresenta a distribuição percentual dos grupos de pesquisa identificados neste trabalho que possuem relações com o setor produtivo.

#### Relações de Grupos de Pesquisa com o Setor Produtivo

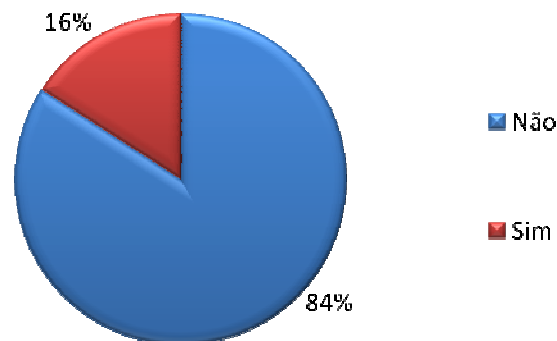


Gráfico 19 – Distribuição percentual da existência de relação com o setor produtivo

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Observamos que apenas 16% dos grupos de pesquisa identificados possuem algum tipo de relação com o setor produtivo. Este é um dado extremamente importante, pois indica que a pesquisa desenvolvida pela grande maioria dos grupos não chega ao setor produtivo concomitantemente com o desenvolvimento científico. Dentre as implicações da constatação está a existência de pouca transferência do conhecimento obtido na pesquisa realizada. O processo de inovação dentro da empresa fica comprometido, além da escassez de recursos, também pela falta de soluções tecnológicas as quais poderiam ser alcançadas com o auxílio dos grupos de pesquisa. Apesar da baixa ocorrência, observamos que o número de parcerias identificadas é

praticamente duas vezes maior que o número de parcerias existentes quando analisamos todos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPq.

## 5.2 – Resultados

### 5.2.1 – Análise das Instituições Parceiras

Como o foco deste estudo consiste na identificação das parcerias existentes entre grupos de pesquisa que desenvolvem tecnologias enzimáticas e instituições diversas, a análise dos parceiros torna-se essencial para que se obtenham aspectos conclusivos acerca do tema. As instituições envolvidas em parcerias foram listadas e analisadas de acordo com diferentes critérios previamente estabelecidos. Um aspecto bastante interessante observado é o fato de que nenhuma das instituições é parceira de mais de um grupo de pesquisa quando envolvidas em parcerias envolvendo enzimas. No total, foram identificadas 87 instituições parcerias.

No gráfico 20 é possível observar a distribuição percentual das instituições parceiras dos grupos de pesquisa por tipo de instituição.

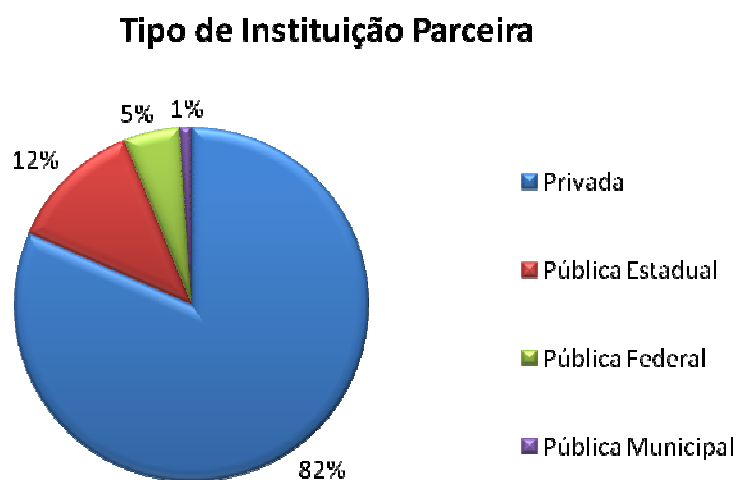




Gráfico 20 – Distribuição percentual do tipo de instituição parceira

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Podemos observar que existe grande predominância de instituições de caráter privado sobre as demais. Esta tendência se mantém constante desde o censo realizado em 2002 pelo próprio CNPq. Os dados de 2002 e 2004 indicam que a maior parte das instituições envolvidas em parcerias com grupos de pesquisa é de natureza jurídica privada, 70% em 2004 para o total de instituições envolvidas em parcerias com a totalidade dos grupos cadastrados.

Comparativamente, as parcerias com grupos de pesquisa em enzimas envolvem maior número de instituições de natureza jurídica privada em relação à totalidade de instituições parceiras cadastradas no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

A tabela 21 a seguir apresenta a lista de instituições envolvidas em parcerias com grupos de pesquisa:

Tabela 21 – Instituições envolvidas em parcerias com os grupos de pesquisa em enzimas

<b>INSTITUIÇÕES</b>
AEB Bioquímica Latino Americanas S/A
Agrichem do Brasil Ltda
Agripec Química e Farmacêutica S.A.
Air Products Gases Industriais
Albano de Oliveira e Companhia Limitada
Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda
Apsen Farmacêutica S/A
Arte e Teto Gesso e Decoração
Associação de Produtores de Batata da Quarta Colônia Italiana do RS
Bahia Pesca S.A.
Banco do Nordeste do Brasil

Barry Callebaut Brasil S/A
Baumer S/A
Belga Quimica LTDA
Bioenzima Indústria e Comércio Ltda
BioPlus - Desenvolvimento Biotecnológico Ltda
BMZ Couros Ltda
Braskem S.A.
Caliman Agricola S.A.
Camaqua Alimentos Limitada
Centro de Pesquisa Molecular e Diagnóstico do Genoma - CPMDG
Cetrel - Empresa de Proteção Ambiental
Clariant S.A.
Companhia Energética de Minas Gerais
Companhia Paranaense de Energia
Compania Suzano de Papel e Celulose
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Cooperativa dos Produtores de Cachaça de Alambique do Sudeste do Tocantins LTDA
Cooperativa Sul Riograndense de Laticínios
Corn Products Brasil
Costa Sul Pescados Ltda
Curtume Bender S.A.
Destilaria Miriri
Dissenha S.A. Indústria e Comércio
Eberle S.A
Empresa Baiana de Águas e Sanamento
Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Empresa Caxiense de Controle Biológico
Empresa Florência Pinheiro dos Santos
Empresa Riograndense de Assistência Técnica e Extensão Rural
Farmoterápica Phyton
Fumex Tabacalera Ltda
Fundação da UFPR para o Desenvolvimento e Progresso da Ciência

Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais
Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
Fundação Oswaldo Ramos
Fundação para o Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária
Fundação Universitária de Toledo
Global Ciência e Tecnologia
Hebron S.A.
Hidrofiltros do Brasil Ltda
Houghton Brasil Ltda
Indústrias Químicas Indígena Ltda
Intecnia Instalação Técnica e Industrial Ltda
Instituto de Tecnologia do Paraná
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento LATEC
International Paper do Brasil
Irmãos Cirelli LTDA
Itaipu Binacional
J. Macêdo Alimentos Nordeste S.A
Japungu Agroindustrial LTDA
Jari Celulose S/A
JB açúcar e Álcool
Joaquim Oliveira S.S Participações
Kardol Indústria Química Ltda
Laboratório Farmacêutico do Estado de Pernambuco
Laboratório Farmacêutico Prodotti Ltda
LGM Produtos Naturais M.E
Maria Auxiliadora Fonseca Carvalho
Melhoramentos
MK Química do Brasil
ML Biogênico
Monsanto do Brasil Ltda
Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda
Novozymes Latin
NPA-Núcleo de Pesquisas Aplicadas Ltda

Nutratch-Insumos e Produtos Biotecnológicos
Pardal -Tecnologia para Agroindústria
Perdigão Agroindustrial S.A.
Prefeitura Municipal de Ilha Solteira
Proquigel Química S/A
Quimipel Industria Quimica Ltda
Ripasa Papel e Celulose SA
Secretaria de Ciencia e Tecnologia do Estado de Minas Gerais
Solabia Biotecnologica
Torquato Pontes Pescados Ltda.
Tractebel Energia S.A.
UNICAMP
Usina Central Olho d'agua
Usina Monte Alegre
Usina Trapiche
Utira S/A Agroindustria e Comércio
Vansil Indústria Veterinária
Votorantim Celulose e Papel

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Um aspecto muito interessante envolvendo as instituições listadas é o fato de que não existem, dentro do universo de grupos de pesquisa identificados, uma instituição que possui relações com mais de um grupo, entretanto existem muitos grupos que se relacionam com mais de uma instituição. Analisando cada instituição vemos que existem empresas de diferentes tamanhos envolvidas com grupos de pesquisa, não sendo uma exclusividade de grandes empresas. Para ampliar o esforço inovador, muitas empresas de pequeno porte buscam o apoio de grupos de pesquisa na busca pela diferenciação de produtos e processos. Temos por exemplo a gigante Novozymes e a empresa nacional GCT – Global Ciência e Tecnologia. A última possui relações estabelecidas com grupo no Instituto de Química da UFRJ, para desenvolvimento de

projeto visando a produção de enzimas industriais para aplicações como alimentos e tratamento ambiental.

Os setores de inserção das empresas parceiras identificadas são muitos. Podemos destacar a presença de empresas de alimentos, papel e celulose, usinas para produção de álcool, empresas de biotecnologia e químicas, além da presença de companhias do setor agropecuário.

### 5.2.2 – Regiões de Origem das Instituições Parceiras

O gráfico 21 apresenta a distribuição percentual das regiões de origem das instituições parceiras. Apesar da maioria dos grupos de pesquisa em enzimas estar localizada na Região Sudeste, a Região Sul predomina no que diz respeito à localização de origem das instituições que possuem parcerias com os grupos de pesquisa.

**Regiões de Origem das Instituições Parceiras**

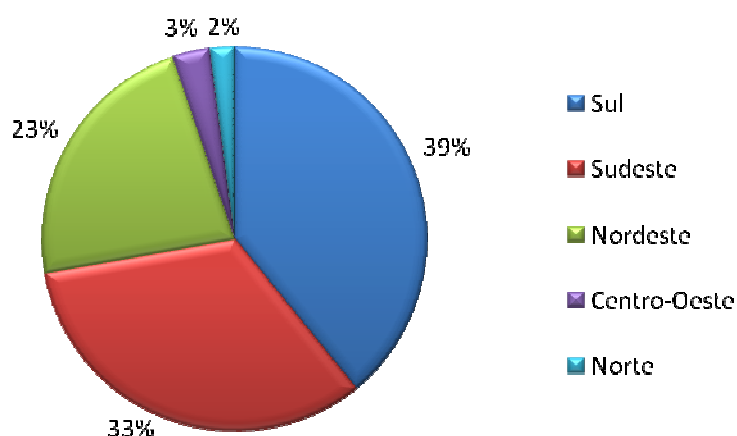


Gráfico 21 – Distribuição percentual das Instituições Parceiras por Região de Origem

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

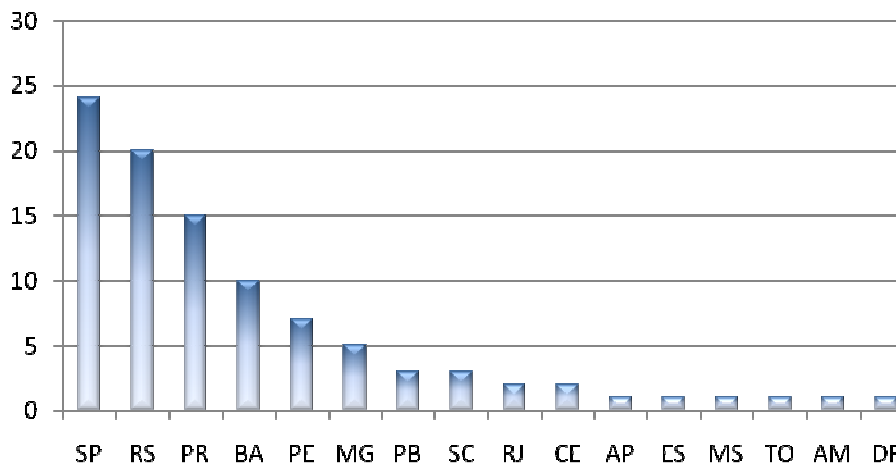
**Número de Instituições por Estado de Origem**

Gráfico 22 – Número de Instituições Parceiras por Estado de Origem

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Um aspecto interessante de se observar é a baixa ocorrência de instituições parceiras de grupos de pesquisa com origem no estado do Rio de Janeiro, segundo maior detentor de grupos de pesquisa em enzimas, o que pode ser observado no gráfico 22. Nesta análise, o Rio de Janeiro aparece apenas como nono colocado em número de instituições parceiras de origem. Uma análise das linhas de pesquisa desenvolvidas pelos grupos no Rio de Janeiro poderá indicar um dos motivos pelos quais temos um número tão baixo de instituições parceiras. Grupos de pesquisa com foco em desenvolvimento de pesquisa básica, sem aplicações industriais, devem ter menor número de instituições parceiras. Por outro lado, grupos de pesquisa com desenvolvimento de linhas de pesquisa prioritariamente aplicáveis devem ter um maior número de instituições parceiras.

### 5.2.3 – Segmento Econômico das Instituições Parceiras

Um aspecto relevante a ser estudado em relação às instituições parceiras dos grupos de pesquisa consiste na identificação de fatores que contribuam para o entendimento do perfil destas instituições. Um destes fatores é o segmento de inserção na economia. Existem três segmentos (ou setores): São eles os setores primário, secundário e terciário. A definição da inserção setorial das instituições permite a identificação das principais etapas envolvidas nas parcerias.

O setor primário é definido como conjunto de atividades econômicas que produzem matéria-prima. Isto implica geralmente a transformação de recursos naturais em produtos primários. Muitos produtos do setor primário são considerados como matérias-primas levadas para outras indústrias, a fim de se transformarem em produtos industrializados. Os negócios importantes neste setor incluem agricultura, agronegócio, a pesca, a silvicultura e toda a mineração e extrativismo vegetal. (INSSE, 2009)

O setor secundário é o setor da economia que transforma produtos naturais em produtos de consumo, ou em máquinas industriais. Geralmente apresenta porcentagens bastante relevantes nas sociedades desenvolvidas. Neste setor a matéria-prima é transformada em um produto manufaturado. A indústria e a construção civil são, portanto, atividades do setor secundário.

O setor terciário da economia envolve a prestação de serviços às empresas, bem como aos consumidores finais. Os serviços podem envolver o transporte, distribuição e venda de mercadorias do produtor para um consumidor, no atacado ou varejo. que pode acontecer no comércio atacadista ou varejista, ou podem envolver a prestação de um serviço, como o antiparasitas ou entretenimento. Os produtos podem ser transformados no processo de prestação de um serviço, como acontece em equipamentos da indústria de reparação. (INSSE, 2009)

No gráfico 23 é possível observar a distribuição percentual do segmento econômico das instituições envolvidas em parcerias com grupos de pesquisa.

### Segmento Econômico das Instituições Parceiras

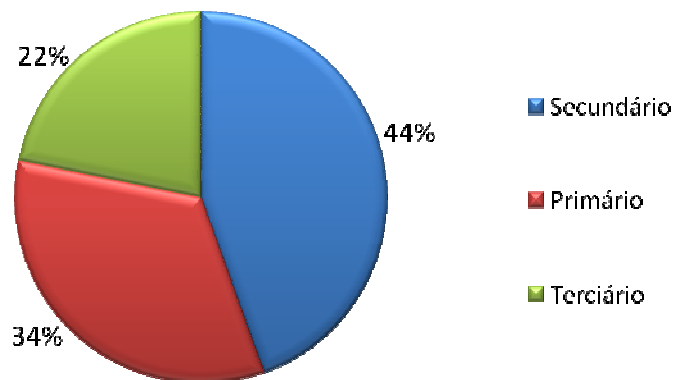


Gráfico 23 – Distribuição percentual das instituições parceiras por segmento econômico

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

O principal setor de inserção das instituições é o secundário. De acordo com as definições apresentadas anteriormente, e como nem todas as instituições que possuem relações com o setor produtivo são companhias privadas, as instituições cujo setor vem a ser o terciário não são, em geral, empresas. Fica evidente que as parcerias envolvendo enzimas englobam os setores primário e secundário, responsáveis pelo processo produtivo e de transformação. Fica claro também que a metodologia utilizada não é suficiente para identificação de parcerias envolvendo enzimas exclusivamente. Uma estratégia complementar deve ser adotada para identificar apenas os grupos de pesquisa e empresas envolvidas em tecnologia enzimática.



#### 5.2.4 – Parcerias por Área e Setor de Atividade Econômica

Dentre os grupos do universo estudado que possuem relações com o setor produtivo faz-se necessária a identificação de aspectos como o setor de atividade das instituições envolvidas. Com isso, temos uma indicação dos principais setores responsáveis pelos investimentos em pesquisa envolvendo enzimas e uma análise conjunta das linhas de pesquisa dos grupos relacionados fornece dados mais específicos a respeito do objeto de estudo desenvolvido pelas instituições.

Para identificação do setor de atividade foram analisados os negócios das 87 instituições das instituições envolvidas em parcerias. As atividades desempenhadas pelas instituições foram então categorizadas para análise.

O gráfico 24 apresenta a distribuição percentual dos principais setores de atividade econômicos das instituições envolvidas em parcerias com os grupos de pesquisa. Observamos que existe uma predominância de instituições que possuem atividades em agropecuária como principal setor de atividade das instituições parceiras. Dentre os aspectos identificados, estão a produção de lavouras temporárias e atividades em pós-colheita.

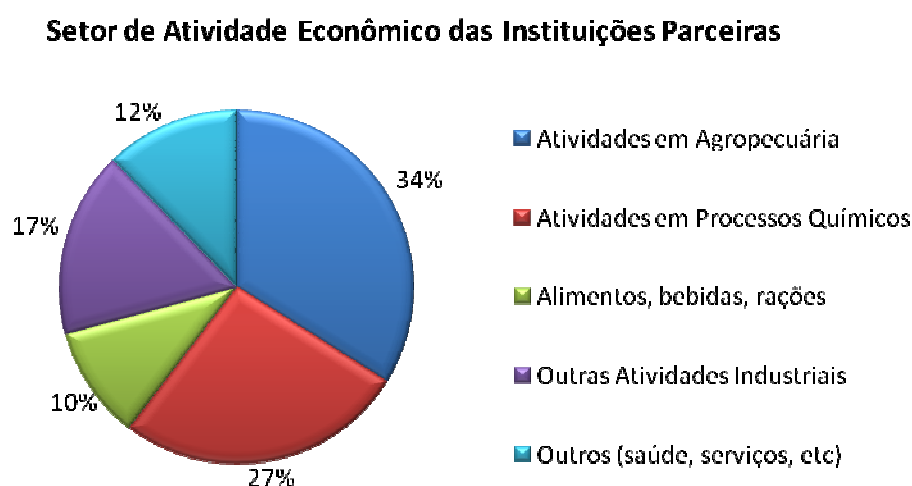


Gráfico 24 – Distribuição percentual das instituições parceiras por atividade econômica

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Em seguida temos instituições que desenvolvem atividades relacionadas a processos químicos e instituições que tem como foco o negócio em alimentos e bebidas. As atividades envolvendo processos químicos são bastante amplas. Podemos citar como exemplos a fabricação de farmoquímicos, tratamento de couro, tratamento e disposição de resíduos, fabricação de biocombustíveis, além da fabricação de detergentes e cosméticos. As duas últimas categorias apresentadas incluem outras atividades industriais, como produção de papel e celulose, transformação e serviços em saúde.

O gráfico 25 permite analisar a distribuição das parcerias identificadas por área do conhecimento dos grupos de pesquisa envolvidos. É interessante observar que a principal área de grupos de pesquisa envolvidos em parcerias é a de Ciência e Tecnologia de Alimentos. A área de Bioquímica, principal área dentre os grupos de pesquisa, aparece apenas como a sétima área em se tratando de grupos com relações com o setor produtivo. Isto indica que a pesquisa realizada pelos grupos nesta área é prioritariamente básica, sem aplicações a curto prazo. Outro aspecto importante é a presença da Agronomia como a terceira principal área dos grupos envolvidos em parcerias.

### Parcerias por Área do Conhecimento

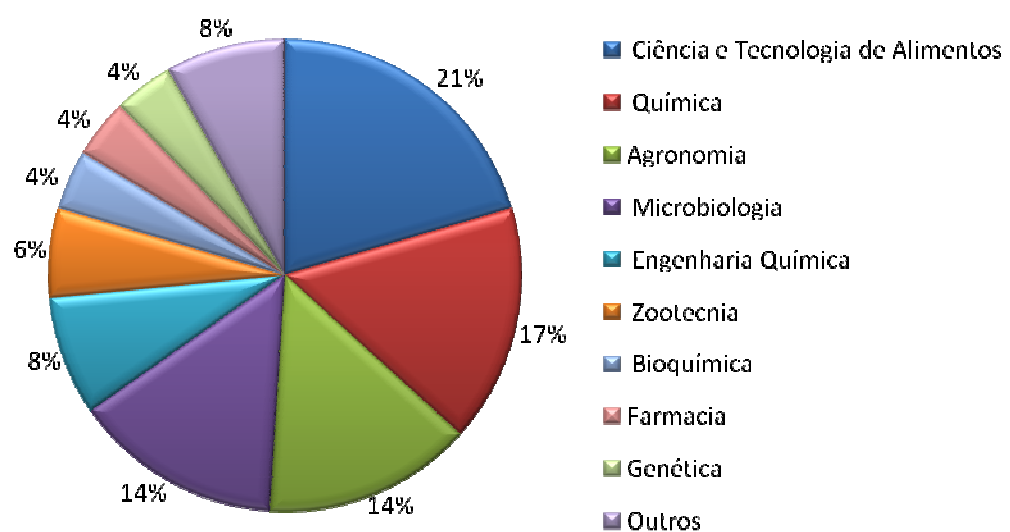


Gráfico 25 – Distribuição percentual das parcerias por área do conhecimento

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

Vale ressaltar que um grupo de pesquisa na área de química pode ter linhas de pesquisa em áreas afins, como bioquímica por exemplo. O mesmo vale para as demais áreas, como alimentos e agronomia. Portanto, apesar de uma mesma instituição não possuir relações com mais de um grupo de pesquisa, vemos que existem parcerias entre diferentes áreas, como uma instituição no ramo de alimentos e bebidas que possui relações com um grupo de pesquisa em química.

### 5.2.5 – Relações Predominantes Existentes nas Parcerias

Foram identificadas duas classes de relações existentes nas parcerias: relacionamentos originários dos grupos de pesquisa tendo como destino as instituições parceiras e relações provenientes das instituições para os grupos de pesquisa.

O gráfico 26 apresenta a distribuição percentual dos tipos de relações predominantes existentes nas parcerias identificadas.

**Tipos de Relações Predominantes nas Parcerias**

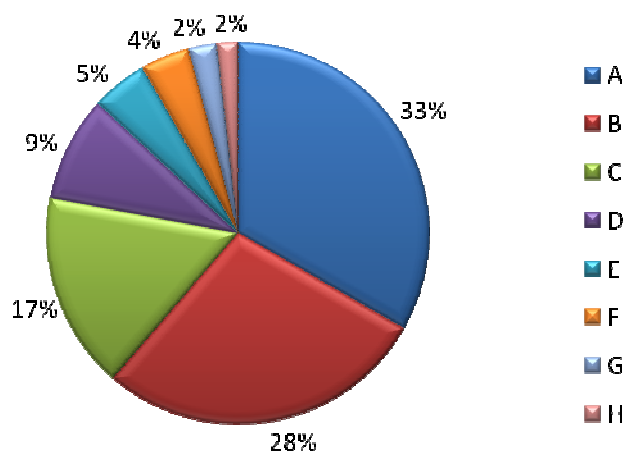


Gráfico 26 – Distribuição percentual dos tipos de relação predominantes

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

A - Pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados
B - Transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro
C - Pesquisa científica sem considerações de uso imediato dos resultados
D - Fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo
E - Treinamento de pessoal do grupo pelo parceiro, incluindo cursos e treinamento "em serviço"
F - Outros tipos predominantes de relacionamento que não se enquadrem em nenhum dos anteriores
G - Atividades de consultoria técnica não englobadas em qualquer das categorias anteriores
H - Atividades de engenharia não-rotineira

A partir dos dados apresentados, verificamos que os relacionamentos envolvendo atividades que partem dos grupos de pesquisa para as empresas correspondem a 86% do total das relações. Os itens relativos à colaboração de interesse mútuo e tipos que não se enquadram em nenhum dos tipos apresentados são originados primordialmente em universidades e instituições públicas de pesquisa. (Rapini, 2007)

O principal tipo identificado de relação entre parceiros consiste na realização de pesquisa com considerações de uso imediato dos resultados, indicando elevada aplicação dos estudos. Isto não se aplica necessariamente à pesquisa envolvendo enzimas, uma vez que apenas cerca de 11% das linhas de pesquisa identificadas se referem ao tema. Temos, no entanto, uma aproximação das relações envolvendo as parcerias em atividades relacionadas a enzimas.

Um aspecto interessante observado é a baixa ocorrência de atividades de engenharia não-rotineira, com apenas 2% do total. Está presente nestas atividades o desenvolvimento de protótipos e plantas-piloto, etapas preliminares do desenvolvimento de processos. Levando-se em consideração todos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPq, as relações envolvendo atividades de engenharia não-rotineira dos grupos para as instituições são responsáveis por 20% do total de tipos de relacionamento, uma indicação de que a pesquisa realizada pelos grupos envolvidos

nas parcerias identificadas neste trabalho, com muitas linhas de pesquisa em enzimas, não prioritariamente aplicada a processos industriais.

Outro aspecto relevante é o fato de que, nos Estados Unidos, a maior frequência das relações de colaboração de empresas com o setor público é para etapas de finalização e de complementação dos projetos de P&D, e não para atividades em etapas iniciais de projetos, característica apresentada pelas instituições no Brasil.

#### **5.2.6 – Análise das Fontes de Recursos**

A análise das fontes de recurso envolvidas nas parcerias é importante para avaliação da dinâmica financeira existente entre as partes. A principal fonte identificada foi a transferência de recursos financeiros da instituição parceira para o grupo de pesquisa. Outra forma de transferência de recurso bastante expressiva é a transferência de insumos materiais para o grupo de pesquisa. Vale ressaltar que uma parceria pode ter mais de um tipo de transferência de recurso. A combinação mais comum observada foi a transferência de recursos financeiros juntamente com transferência de insumos materiais da companhia para o grupo de pesquisa.

O gráfico 27 apresenta a distribuição percentual das fontes de recurso envolvidas nas parcerias.

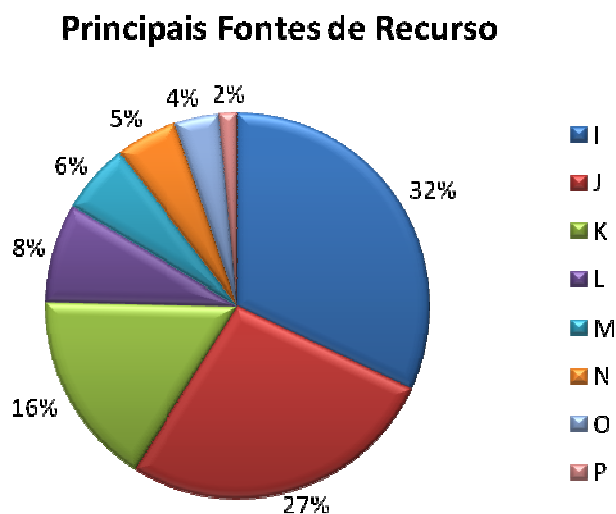


Gráfico 27 – Distribuição percentual das fontes de recursos

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNPq

I - Transferência de recursos financeiros do parceiro para o grupo

J - Transferência de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo

K - Fornecimento de bolsas para o grupo pelo parceiro

L - Outras formas de remuneração que não se enquadrem em nenhuma das anteriores

M - Transferência física temporária de recursos humanos do grupo para as atividades do parceiro

N - Parceria sem a transferência de recursos de qualquer espécie,

O - Parceria com transfêrencia de recursos de qualquer espécie nos dois sentidos

P - Transferência de insumos materiais para as atividades do parceiro

Como pode ser observado, o fornecimento de bolsas, representa uma forma expressiva de transferência de recursos, devendo estar atrelado à realização de atividades como doutorado empresarial, por exemplo. Outro aspecto provável é a liberação de bolsas de projetos, possivelmente provenientes de órgãos de fomento, como CNPq e FINEP. Observamos também que em alguns casos temos transferência de recursos humanos do grupo para realização de atividades do parceiro.

Em 75% dos casos temos transferência de recursos da instituição parceira para o grupo pesquisa e o contrário ocorre em apenas 8% dos casos. Observamos que existe uma relação direta entre as relações envolvidas nas parcerias abordadas anteriormente e a transferência de recursos entre as partes. Nas parcerias identificadas neste trabalho as instituições repassam recursos para os grupos em troca de conhecimento. A constatação é condizente com esta indústria, de base tecnológica e inerentemente baseada no conhecimento científico.

## CONCLUSÕES

Um aspecto interessante das parcerias envolvendo instituições e grupos de pesquisa é o fato de que, dentro do universo de instituições identificadas, nenhuma delas possui relações com mais de um grupo de pesquisa. Por outro lado, existem grupos com relações com muitas instituições do setor produtivo. Em geral, estes grupos são bem estruturados, com grande número de pesquisadores e linhas de pesquisa. Isto mostra que o setor produtivo no Brasil ainda possui um grande número de relações com as universidades e grupos de pesquisa, apesar do aumento qualitativo e quantitativo observado nos últimos anos.

As empresas identificadas não estão localizadas necessariamente na mesma região geográfica das instituições dos grupos de pesquisa que relaram algum tipo de relacionamento. Observamos que as empresas buscam os grupos de pesquisa que desenvolvem pesquisa dentro de sua área de atuação, além do fato de determinadas companhias possuírem plantas e escritórios em diferentes regiões do país.

A metodologia utilizada não foi suficiente para identificar apenas as linhas de pesquisa envolvendo enzimas. Portanto, muitas das parcerias identificadas podem envolver outro objeto de estudo em biotecnologia. Foi possível, entretanto, identificar algumas parcerias envolvendo enzimas, com a ocorrência de linhas de pesquisa envolvendo principalmente a degradação de matéria-prima celulósica.

Dentre os principais setores identificados para aplicação de enzimas, tanto em relação aos mercados quanto em relação às linhas de pesquisa existentes envolvendo enzimas industriais estão alimentos, papel e celulose, produção de biocombustíveis, detergentes e atividades envolvendo tratamento enzimático de produtos agrícolas. Para as enzimas especiais foram identificadas linhas de pesquisa em desenvolvimento de fármacos, reações para diagnóstico, além de inúmeras linhas em pesquisa básica.



Observamos que apesar do reduzido tamanho do mercado brasileiro de enzimas em relação ao resto do mundo, observamos que a pesquisa desenvolvida pelas universidades e centros de pesquisa no país está alinhada às aplicações industriais existentes. Logo, apesar da contenção das ações empreendedoras devido às crises econômicas recentes, existem, ainda, inúmeras possibilidades para a criação de novos projetos envolvendo enzimas, devido ao grande mercado existente com variedade de aplicações, às linhas de financiamento para a inovação tecnológica e, principalmente, devido ao conhecimento gerado pelos grupos de pesquisa no Brasil que pode vir a ser transformado em produtos pela iniciativa privada.

## SUGESTÕES

Para solucionar a falta de informações mais específicas sobre as linhas de pesquisa e o grau de desenvolvimento da pesquisa envolvendo enzimas será construído um questionário para envio aos líderes dos grupos de pesquisa identificados, visando extrair mais informações para viabilizar o estabelecimento de parcerias entre empresas e universidades, principalmente. Dentre os aspectos abordados no questionário temos:

- Tipo de pesquisa em enzimas realizada pelo grupo: Básica; Aplicada; Desenvolvimento
- Linhas de pesquisa em enzimas
- Relações com setor produtivo envolvendo enzimas
- Principais dificuldades encontradas para formação de parcerias
- Desconhecimento de companhias no setor de interesse
- Canal de comunicação existente

O estudo de mercado aponta que a celulase é uma das principais enzimas industriais, sendo largamente utilizada em muitas aplicações, como detergentes, indústria têxtil,

papel e celulose, indústria de alimentos e, mais recentemente, com um dos maiores crescimentos observados, a produção de álcool combustível. Esta última aplicação é especialmente importante para o Brasil, devido aos programas de incentivo à produção de biocombustíveis, principalmente o etanol.

As enzimas celulasas são produzidas em muitos países para diferentes aplicações. No entanto, as duas maiores companhias mundiais em produção de enzimas, a Novozymes e a Genecor possuem programas específicos para a redução dos custos do *blend* de enzimas celulasas para produção de bioetanol. Com a redução dos custos destas enzimas por parte das grandes companhias, a competitividade de outros produtores pode ficar comprometida.

Apesar das barreiras existentes para ingresso no mercado de enzimas como a grande exigência técnica e os elevados custos de pesquisa e produção envolvidos, existem casos de novos entrantes, companhias recém-formadas de base tecnológica, que tem sucesso devido, principalmente, à diferenciação de seus produtos com inovações. Um bom exemplo é a empresa Cellulozyme, que desenvolveu um produto a base de celulasas, o CropsBreaker, que consiste em um complexo multi-enzimático que não necessita de pré-tratamento, sendo 20 vezes mais eficiente que os produtos similares no mercado. Neste caso, o estabelecimento de parcerias com universidades, centros de pesquisa e outras empresas torna-se indispensável para um bom desempenho no mercado.

## BIBLIOGRAFIA

Biofuels Digest. (fevereiro de 2009). Fonte: [www.biofuelsdigest.com](http://www.biofuelsdigest.com)

Bon, E. (Agosto de 2007). Acesso em Agosto de 2007, disponível em Bioethanol: [www.bioethanol.com.br](http://www.bioethanol.com.br)

Bon, E.; Ferrara, M.; Corvo, M. (2008). *Enzimas em Biotecnologia: Produção, Aplicações e Mercado*

BRENDA database. (s.d.). *Microorganismos para Produção de Enzimas.*

CelluloZyme. (Dezembro de 2006). Presentation of the new created company. Strasbourg, Alemanha.

CeluloseOnline. (2006). *Introdução ao Processo de Obtenção de Celulose .*

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2006). *Enzimas Industriais e Especiais.*

ChemExper Suppliers. (Agosto de 2007). Fonte: ChemExper: [www.chemexper.com](http://www.chemexper.com)

Consultoria SRI. (2003). *Revisão de especialidades Químicas Industriais: Biotecnologia.*

Cruz, C. (2000). A Universidade, a Empresa e a Pesquisa que o país precisa. *Revista Humanidades*. n. 45, pp. 15-29.

Dagnino, R. (2004). A Relação Universidade-Empresa no Brasil e o “Argumento da Hélice Tripla”. *Convergência N° 35, ISSN 1405-1435*. UAEM, México. Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica, Brasil.

Daniel De La Torre Ugarte, B. E. (2006). *Economic and Agricultural Impacts of Ethanol and Biodiesel.*

Decision News Media. (2005). *Food Navigator.*

Dong Energy. (2006). *Integrated Biomass Utilisation System*.

Fórum de Competitividade de Biotecnologia (2006). Estratégia Nacional de Biotecnologia; Política de Desenvolvimento da Bioindústria. pp. 33-35.

Freedonia Group. (2005). *World Enzymes*.

Frost and Sullivan. (2006). *Frost and Sullivan*. Fonte: Frost and Sullivan: [www.frost.com](http://www.frost.com)

Gusmão, R. (2002). Práticas e Políticas Internacionais de Colaboração Ciência-Indústria. *Revista Brasileira de Inovação* v. 1. pp. 327-360.

Hannon, D. (2 de Março de 2006). Acesso em Agosto de 2007, disponível em Purchasing: <http://www.purchasing.com>

Integrated Biomass Utilisation System - IBUS. (Agosto de 2007). Fonte: IBUS: <http://www.bioethanol.info/>

M.K. BHAT, S. B. (1997). CELLULOSE DEGRADING ENZYMES AND THEIR POTENTIAL APPLICATIONS. *Biotechnology Advances* , pp. 584,604,605.

Morand, C. (2006). *AltEnergyStocks*. Fonte: AltEnergyStocks: <http://www.altenergystocks.com/>

Novozymes Biotech, Inc. (2 de Maio de 2003). Cellulase Cost Reduction. Golden, Colorado, EUA.

NREL. (2006). Fonte: National Bioenergy Center: [www.nrel.gov/biomass/national\\_bioenergy.html](http://www.nrel.gov/biomass/national_bioenergy.html)

Rapini, M. (2007). Interação Universidade-Empresa no Brasil: Evidências do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. *Estudos Econômicos*, v. 37, n. 1, pp. 211-233.

Rapini, M.; Righi, H. (2007). Interação Universidade-Empresa no Brasil em 2002 e 2004: Uma Aproximação a partir dos Grupos de Pesquisa do CNPq. *Economia*, v. 8, n. 2, pp. 248-268.

Reuters. (Agosto de 2007). *Reuters*. Fonte: Reuters: [www.reuters.com](http://www.reuters.com)

S. Prasad, A. S. (2007). Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. *Resources, Conservation and Recycling* , pp. 1,6,10,22.

The Business Communications Company . (2006). ENZYMES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS: MARKETS BY ENZYME PRODUCTS .

US Department of Energy. (Setembro de 2004). Development of New Sugar Hydrolysis Enzymes.

Y.H. Percival Zhang, M. E. (Março de 2006). Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies. *Biotechnology Advances* , pp. 453-460.

World Enzymes - Industry Study with Forecasts for 2011 & 2016. (2009). The Freedonia Group. pp. 4-6.