

LUDOVIC QUENTIN BARRE

ESTRUTURACÃO E PRECIFICAÇÃO DOS PRODUTOS DERIVATIVOS
DE CLIMA

APLICAÇÃO AO MERCADO DE TRIGO NO BRASIL

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do diploma
de Engenheiro de Produção.

São Paulo

2011

LUDOVIC QUENTIN BARRE

ESTRUTURACÃO E PRECIFICAÇÃO DOS PRODUTOS DERIVATIVOS
DE CLIMA
APLICAÇÃO AO MERCADO DE TRIGO NO BRASIL

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do diploma
de Engenheiro de Produção.

Orientador :

Sr. Mauro Zilbovicius

São Paulo

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Barre, Ludovic Quentin

**Estruturação e precificação dos produtos derivativos de
clima: aplicação ao mercado do trigo no Brasil / L.Q. Barre. --
São Paulo, 2011.**

p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1.Derivativos 2.Clima 3.Preços I.Universidade de São Paulo.
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Produção II.t.**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar eu gostaria de agradecer meu orientador, o professor Mauro Zilbovicius, que, apesar da distância durante alguns meses, soube me aconselhar e me guiar nesse trabalho de formatura.

Também ao banco Santander e o laboratório ‘Optimal Design Laboratory at the University of Michigan’ que me ajudaram muito no desenvolvimento desse trabalho participando ativamente no meu aprendizado e no desenvolvimento dos temas abordados nesse relatório.

Meus pais e minha família, que me apoiaram, mesmo estando longe, na França.

RESUMO

Desde alguns anos, o mercado dos produtos derivativos conhece um importante crescimento. Criados algumas décadas atrás, a popularidade não pare de crescer. E isso pode ser explicado de varias formas. Com um custo inicial muito baixo, esses produtos permitem a obtenção de um ganho muito maior que a soma investida. Ou, no pior dos casos, perdas muito grandes.

Devido a instabilidade cada vez maior das condições climáticas e de seu impacto em diversos setores da economia, algumas pessoas começaram a se interessar na criação de produtos financeiros derivativos baseados sobre o clima gerando a criação de um mercado para este tipo de produto nos Estados Unidos, e durante alguns anos, na Europa.

Ainda mal conhecidos, e principalmente mal caracterizados em termos de valor, o mercado não conta hoje em dia com muitos atores.

Acreditando que este tipo de produto possa ser uma boa oportunidade para um produtor agrícola se proteger de âleas climáticas, esse estudo tenta criar e viabilizar dois produtos derivativos indexados sobre a temperatura, aplicados para a produção de trigo no Rio Grande do Sul.

Através deste estudo, vários problemas são discutidos, principalmente o estabelecimento de um preço justo para as duas partes interessadas em contratar esse tipo de produto.

Palavras-chave: Derivativos, Clima, Preços

ABSTRACT

Since a few years, the financial derivatives products market knows an important growth. Created a few decades ago, their popularity doesn't stop to increase. What can be explained for different reasons. With a really low initial investment, this category of product allows to earn a huge profit compared to the amount invested at the beginning of the transaction. Or huge losses in the worst scenario.

Because of climatic changes that are time by time worse, some people have begun to be interested in creating financial derivative products based on the weather. Which had for consequences the creation of an official market in US, and for a few years, in Europe.

Not really popular yet, the market counts a few players, because of some difficulties for characterizing this kind of product, especially for pricing.

Thinking that this type of product might be a good opportunity for a farmer to hedge himself against weather risks, this study tries to create and to viable two different derivative products based on temperature, applied for the wheat production in the south of Brazil.

Through this study, we will be aware that many problems appear, especially when a 'fair' price needs to be reach.

Key words: Derivatives, Weather, Pricing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mercado dos derivativos de clima por ano, Chicago Mercantile Exchange.....	14
Figura 2 - Volume ótimo para um hedge (MÜLLER; GRANDI, 2000).....	3
Figura 3 - Influência do risco de clima no P&L.....	5
Figura 4 - Estado do mercado na bolsa de Chicago e no balcão (Price WaterHouse Coopers, 2006)	6
Figura 5 - Volume de transação no CME (CME Group)	8
Figura 6 - Cronologia dos eventos no CME (CME Group)	9
Figura 7 - Volume das transações no CME (CME Group)	10
Figura 8 - Setores impactados com riscos de clima	11
Figura 9- Market share dos diferentes produtos derivativos de clima (Weather Risk Management Association, 2006).....	14
Figura 10 - Valores do CDD e HDD em função da temperatura de referência (Munich RE).....	15
Figura 11 - Payoff de um strangle (Trading School).....	17
Figura 12 - Payoff de um swap (Trading School).....	18
Figura 13 - Payoff de um swap (GARMAN et al.)	19
Figura 14 - Payoff (BARRIEU; SCAILLET, 2008)	22
Figura 15 - Produção do trigo no mundo (USDA, 2009).....	27
Figura 16 - Produção do trigo no Brasil (USDA, 2009)	28
Figura 17 - Produção Brasileira de trigo em relação com o consumo interno (CONAB).....	30
Figura 18 - Desempenho do trigo Brasileiro (CONAB)	31
Figura 19- Variação percentual da produção agrícola entre 2009 e 2010 no Brasil (IBGE, 2010).....	34
Figura 20 - Variação absoluta da produção agrícola entre 2009 e 2010 (IBGE, 2010)	35

Figura 21 - Distribuição dos custos de produção, por componente, da cultura de trigo em 2010 (EMBRAPA Agropecuaria Oeste, 2010)	37
Figura 22 - Curvas das temperaturas máximas e mínimas observadas em Passo Fundo - RS durante o ano 2001 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	51
Figura 23 - Curvas das temperaturas máximas e mínimas observadas em Passo Fundo - RS, durante o ano 2008 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	52
Figura 24 - Quantidade diaria de chuva em Passo Fundo para os anos 2001 e 2008 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	53
Figura 25 - Velocidade maxim do vento observada diariamente em Passo Fundo - RS durante os anos 2001 e 2008 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	54
Figura 26 - Volume de produção de trigo por ano (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	67
Figura 27 - Importância da mean reversion na modelagem da temperatura (GARMAN et al., 2000) .	67
Figura 28 - Regressão linear da temperatura (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	68
Figura 29 - Perfil de aproximação procurado (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	69
Figura 30- Comparativo entre dados reais e curva de theta obtida (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	75
Figura 31- Strike das opções contratadas (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	80
Figura 32 - Vetores de suporte (HASAN, 2006).....	87
Figura 33 - Hyper-plano com a vaste margem (HASAN, 2006).....	88
Figura 34 - Relevância de um hyper-plano ótimo (HASAN, 2006).....	89
Figura 35 - Diferentes casos de separação de dados (HASAN, 2006).....	89
Figura 36 - Linearização de problema em aumentando a dimensão o espaço de descrição (HASAN, 2006)	90
Figura 37 - Hyper-planos validos (HASAN, 2006)	92
Figura 38 - Margem entre o hyper-plano e os dados (HASAN, 2006)	92
Figura 41 - Passagem no espaço de redescrição (HASAN, 2006)	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Riscos de clima por setores de atividades	2
Tabela 2 - Principais transações no mercado de balcão	12
Tabela 3 - Cronologia dos eventos no CME (CME Group).....	13
Tabela 4- Opções de clima operaveis (CME)	16
Tabela 5- Produção mundialde trigo para as safras 2008/09-2009/10 e previsões 2010/11 (TRIGO Socioeconomia)	29
Tabela 6 - Areas plantadas de trigo no Brasil, com as quantidades produzidas.....	32
Tabela 7 - Importações de trigo no Brasil (BUNGE Alimentos SA)	33
Tabela 8- Custo de produção por hectare (EMBRAPA Agropecuaria Oeste, 2009)	36
Tabela 9- Preço da tonelada de trigo, e diferença competitiva com o Brasil (EMBRAPA, 2010)	38
Tabela 10 - Conseqüências de perdas em termo de volume de produção para o lucro do produtor (HIRAKURI, EMBRAPA, 2010)	39
Tabela 11 - Calendário agrícola do trigo (UFPR)	46
Tabela 12 - Regressão linear da temperatura máxima, mínima, precipitações e vento (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	55
Tabela 13 - Numero de dados disponiveis desde 1990 até 2009 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	70
Tabela 14 - Regressão linear a fim de obter a curva theta (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	74
Tabela 15 - Tick por dia em relação ao historico de produção (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	77
Tabela 16 - Payoffs historicos das opções (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)	78

Tabela 17 - Numero de dias com as opções podendo ser exercidas	(UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....	81
Tabela 18 - Taxas de riscos (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE).....		82
Tabela 19 - Preço das opções para os produtores de trigo (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)		83

SUMÁRIO

1.	O mercado dos derivativos de clima	2
1.1	O que é risco de clima?	2
1.2	A importância do gerenciamento do risco hoje	4
1.3	Primeiros derivativos de clima	5
1.4	O mercado para derivativos hoje	6
1.4.1	<i>Desenvolvimento passado</i>	6
1.4.2	<i>O nascimento de um novo mercado</i>	7
1.4.3	<i>Desenvolvimento atual</i>	8
1.5	Os principais atores desse mercado.....	9
1.6	Quem são as corretoras no mercado?	11
1.7	Os produtos.....	12
1.7.1	<i>Os tipos de subjacentes</i>	12
1.7.2	<i>The Weather Index</i>	14
1.7.3	<i>As opções</i>	15
1.7.4	<i>Swaps</i>	18
1.7.5	<i>Collars ou Fence</i>	18
1.8	Os derivativos de clima como um instrumento de gestão de risco – Exemplos na literatura....	19
1.9	Porém, os derivativos de clima devem ser usados cuidadosamente	23
1.9.1	<i>O risco básico – basis risk</i>	23
1.9.2	<i>Problemas de liquidez e vencimento</i>	24

1.9.3	<i>Os maiores problemas: A modalização do subjacente e a precificação</i>	24
1.9.4	<i>Uma consequência: O agro business está reticente ainda ao uso dos derivativos de clima</i>	25
2.	A produção de trigo e seus fatores	27
2.1	Características da produção	27
2.1.1	<i>Produção</i>	27
2.1.2	<i>Produção no Brasil</i>	33
2.1.3	<i>Custos de produção</i>	35
2.1.4	<i>Evolução da demanda</i>	39
2.1.5	<i>Organização da distribuição</i>	40
2.1.6	<i>Descrição do processo biológico e físico</i>	40
2.2	Modelo Econométrico	47
2.2.1	<i>Definição das variáveis</i>	47
2.2.2	<i>Coletas de dados</i>	50
2.2.3	<i>Resultados</i>	51
3.	Estruturação e precificação de um produto derivativo indexado à temperatura, aplicado à produção do trigo	57
3.1	Estruturação	57
3.1.1	<i>A partir da parte precedente</i>	57
3.1.2	<i>Esboço</i>	57
3.1.3	<i>Nosso produto</i>	58
3.2	Precificar um derivativo de clima na literatura	60
3.2.1	<i>Dificuldades devidas ao tipo de subjacente</i>	61
3.2.2	<i>História da precificação</i>	61

3.2.3 Métodos de precificação	62
3.3 Modelagem da temperatura	66
3.3.1 Correlação e não previsível	66
3.3.2 Mean reversion.....	67
3.3.3 Tendências e sazonalidades	68
3.4 Modelagem	69
3.4.1 Dados	69
3.4.2 Modelos disponíveis	71
3.4.3 Resultados	72
3.4.4 Estimação de theta	73
3.4.5 Estimação da velocidade de reversão média a	75
3.4.6 Estimação da volatilidade	76
3.5 Precificações dos nossos derivativos	76
3.5.1 Burn Analysis	76
3.5.2 Simulação com modelo de Monte Carlo	84
3.6 Support Vector Machine	86
3.6.1 A teoria.....	86
3.6.2 A teoria dos SVM: Regressão.....	95
4. Conclusão	99
Referências	100

INTRODUÇÃO

O clima afeta mais de 80% de nossa economia. Como consequência disso, a necessidade de se proteger contra eventuais perdas econômicas devido aos eventos climáticos extremos não previstos aumentou consideravelmente desde 1970, no mesmo tempo que as perdas vinculadas a esses eventos.

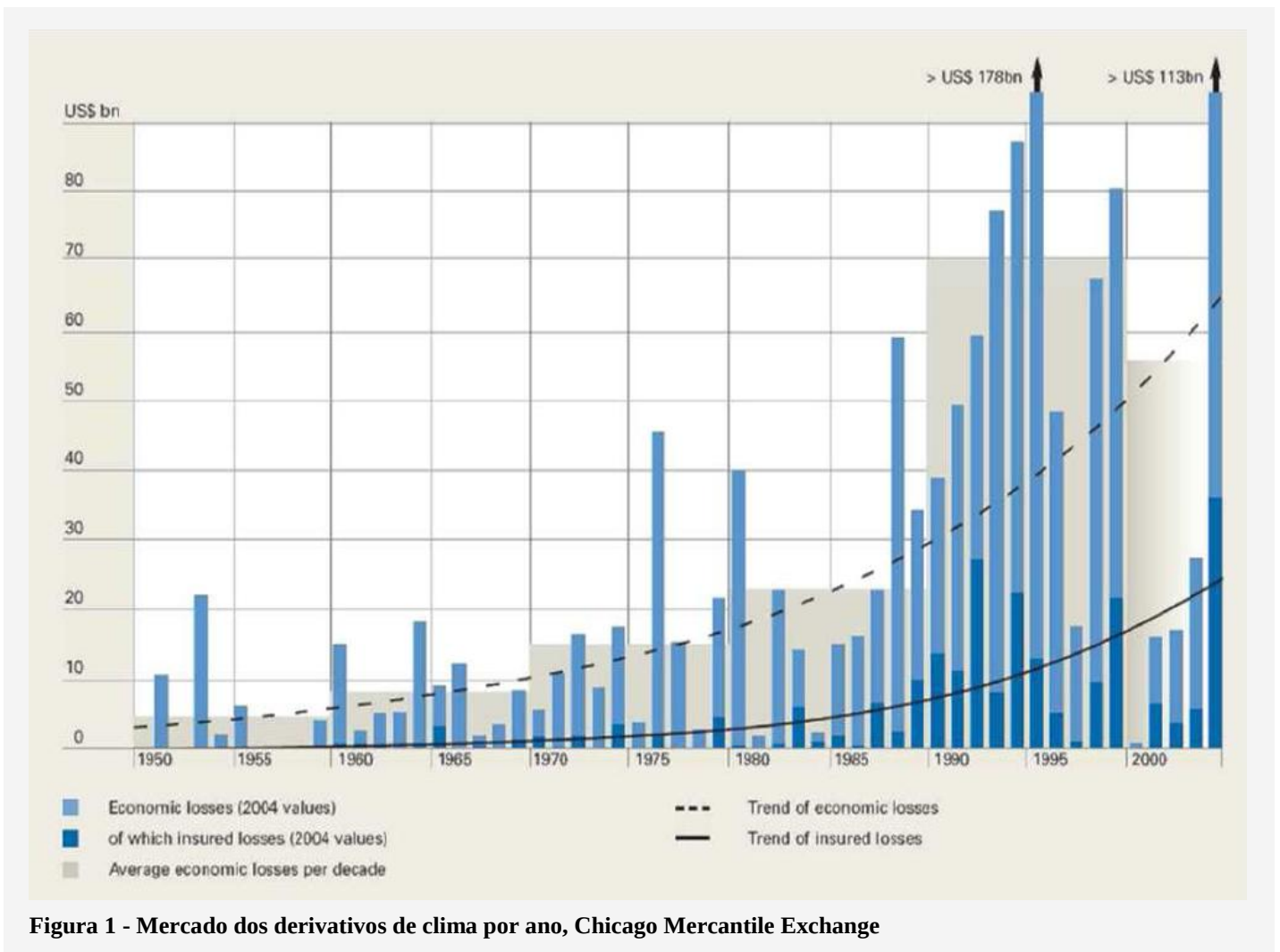


Figura 1 - Mercado dos derivativos de clima por ano, Chicago Mercantile Exchange

1. O mercado dos derivativos de clima

1.1 O que é risco de clima?

Antes de definir o que é um derivativo indexado ao clima, precisa-se entender o que é risco de clima. Empresa de cerveja, casa de moda, fabricante de sorvete e, por exemplo, fabricantes de material de esporte têm uma atividade diferente, mas as vendas deles dependem de um fator comum: toda produção é ligada diretamente ao clima. “Segundo uma estimativa feita por unidades de pesquisa e o departamento de comércio americano, 80% das atividades econômicas no mundo são dependentes do clima” (NOAA 2005, El Karoui e Barrieu 2004). Mais precisamente, as receitas das empresas afetadas pelo clima representam US\$ 1000 bilhões nos Estados Unidos, US\$ na Europa e US\$ 700 bilhões no Japão (Brockett 2005). Em 2005, ABN AMRO publicou uma pesquisa mostrando que mais ou menos 20% da produção industrial na Europa eram concernidas por riscos de clima e 35% nos Estados Unidos.

O risco de clima é muito específico e, contrariamente a outras variáveis, é impossível controlá-lo. Porém, o impacto é muito previsível: as mesmas causas vão ter as mesmas consequências.

Tabela 1- Riscos de clima por setores de atividades

Setor de atividade	Principal risco de clima contra o qual tem que se proteger
Energia	Temperatura
Agricultura	Temperatura, Precipitação, Vento
Agrobusiness	Sol, Temperatura, Diminuição do consumo devido ao clima
Distribuição	Condições gerais de clima
Turismo	Neve, Sol, Temperatura
Saúde	Inverno muito frio, Verão muito quente
Transporte	Vento, Chuva, Neve, Gelo
Construção civil	Vento, Chuva, Neve, Gelo

Os derivativos de clima são instrumentos financeiros cujo valor ou fluxo de caixa depende da ocorrência de alguns eventos meteorológicos que são relativamente fáceis de medir e suficientemente transparentes para agir como objeto para contratos financeiros (Barrieu e Scaillet, 2009). Os lugares são claramente identificados e as medidas são fornecidas por organismos independentes e confiáveis. O subjacente meteorológico pode ser considerado como não catastrófico. Os derivativos de clima são diferentes dos mais clássicos no sentido que o subjacente não pode ser operado. Em geral, os produtos derivativos são baseados sobre indexes, taxas de juros ou moedas que são objetos possíveis de operar. O clima é definitivamente não operável. O subjacente de um derivativo de clima é baseado sobre dados, tal que temperatura, nível de precipitação, queda de neve influenciam o volume operável.

O objetivo de um derivativo de clima é de se proteger do volume de risco, Dependendo do setor industrial, pode-se deduzir que um “hedge” perfeito leva em conta um aspecto econômico e de volume. Como mostrado no gráfico dos professores Dr. Andreas Müller e Dr. Marcel Grandi, o volume deve ser considerado.

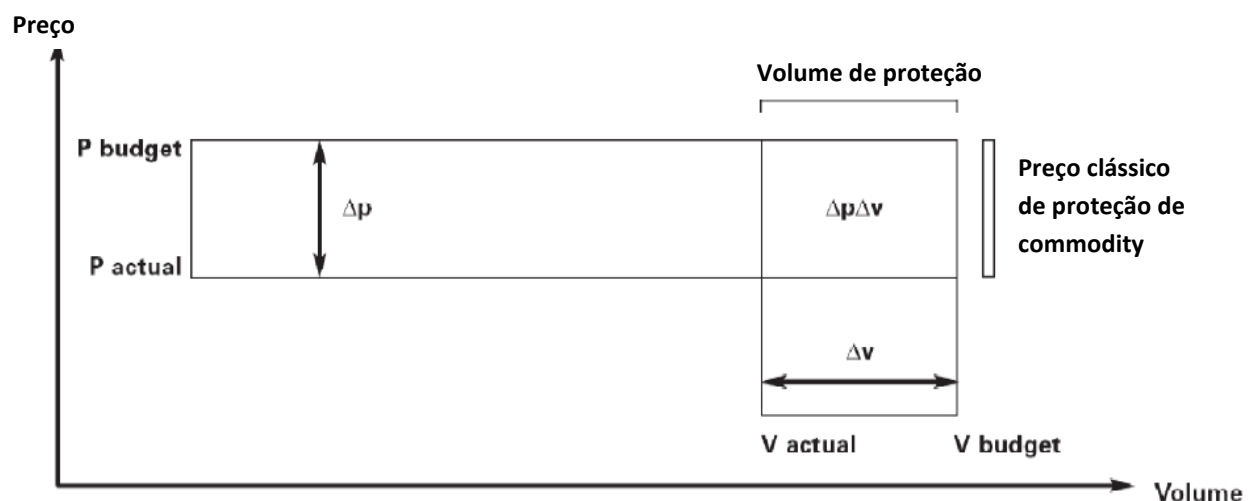


Figura 2 - Volume ótimo para um hedge (MÜLLER; GRANDI, 2000)

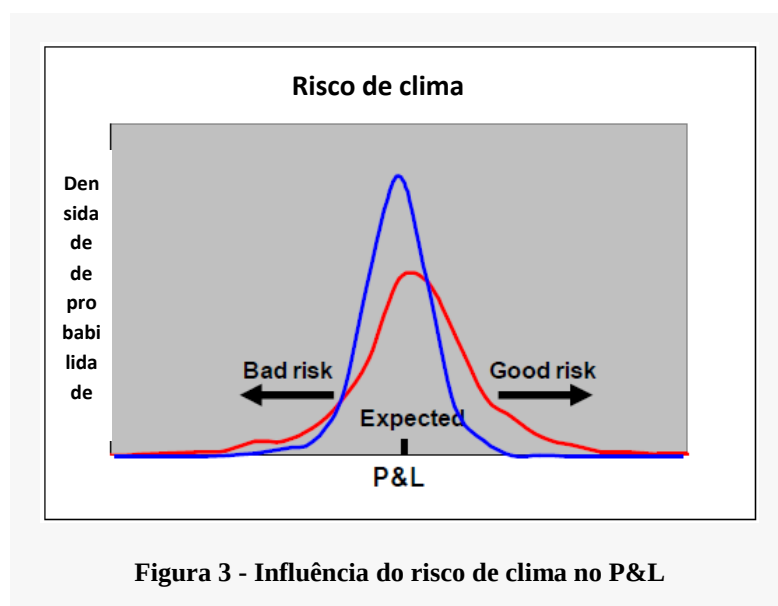
Um contrato padrão de derivativos de clima é definido pelos atributos seguintes:

- O período do contrato: a data inicial e final
- A estação de medida

- A variável de clima
- Um índice, que representa a variável de clima sobre o período do contrato
- Uma função pay-off, que converte o índice em fluxo de caixa
- O prêmio que o comprador tem que pagar ao vendedor à data de começo do contrato

1.2 A importância do gerenciamento do risco hoje

Vários estudos confirmam que os riscos ligados ao clima têm consequências financeiras importantes no desempenho das empresas e, às vezes, maiores que os riscos do mercado financeiro tal que as moedas ou taxas de juros. (Dutton, 2002 e Marteau e al, 2004). Num estudo sobre as práticas de gerenciamento do risco de clima feito pelo Chicago Mercantile Exchange (CME) e Storm Exchange Inc., uma grande maioria dos gerentes de finanças e riscos admite que suas atividades sejam grandemente impactadas pelo clima. “A emergência de uma mudança global de clima assim como uma volatilidade importante implicam em mudar os modelos de negócios nas décadas de hoje para frente”. E alguns eventos recentes tornam o gerenciamento de risco quase necessário. Primeiramente, devido à crise de crédito, que cresceu junto com a crise dos sub primes, é difícil para uma empresa hoje fazer um seguro contra os riscos de clima. Segundo, o clima é volátil e cíclico. E por último, o aquecimento globalizado justifica o surgimento de um gerenciamento de risco de clima.



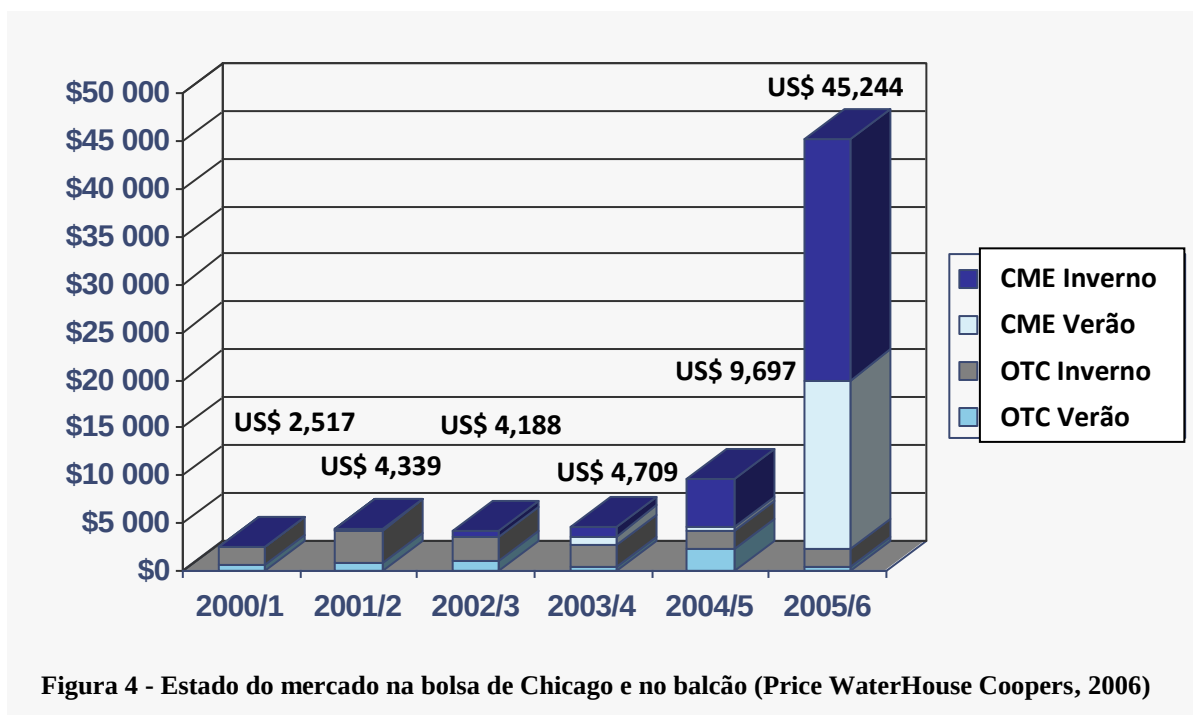
1.3 Primeiros derivativos de clima

O primeiro contrato de derivativo de clima foi negociado em julho 1996 entre Aquila Energy e Consolidated Edison Co. A estrutura era “dual-commodity hedge”. A transação foi assim:

ConEd’s comprou a eletricidade para o mês de agosto a Aquila. As duas empresas concordaram sobre o preço antecipado e sobre uma cláusula de clima incluída no contrato. Essa mencionava que Aquila daria um desconto para a ConEd se o mês de agosto fosse mais frio que o previsto. A medida disso foi registrada com o Cooling Degree Days da estação de medida do Central Park, em Nova York. Se o total da temperatura fosse de 0 a 10% abaixo do esperado, a companhia não receberia desconto para o preço da eletricidade, mas se o total fosse de 11% a 20% abaixo do normal, ConEd iria receber US\$ 16,000 de desconto. Depois dessa primeira transação, os derivativos de clima começaram ser um pouco operado no over-the counter market (fora do mercado organizado, como a bolsa) em 1997. Um líder e pioneiro nos derivativos de clima foi Enron Corporation, através da EnronOnline platform. O mercado aumentando, o Chicago Mercantile Exchange (CME) introduziu o primeiro contrato futuro de derivativos de clima, com as opções correspondentes em 1999.

1.4 O mercado para derivativos hoje

Como é hoje o mercado para derivativos de clima? Mesmo que as primeiras transações tenham começado no final da década de 90, os derivativos de clima ficaram “secrets” até que o Weather Risk Management Association anunciou, em 2006, que o valor das transações para o hedge de clima tinha quadruplicado em um ano só, atingindo US\$ 45 bilhões (WRMA 2006).



Na Europa, a situação é bem diferente (Moreno 2000): por exemplo, os derivativos de clima introduzidos no mercado por Liffe e Euronext, em 2001, foram retirados em 2003 por causa de uma falta de transações (Haquani 2005).

1.4.1 Desenvolvimento passado

Em 1991, as Nações Unidas e alguns bancos incluíram o ambiental nas suas estratégias. Em 2003, a UNEP finance (United Nations Environment Program) é criado com Deutsche Bank, RBC, Westpas, HSBC e UNEP. Depois, de acordo com o último relatório anual do Weather

Risk Management Association (WRMA) e PricewaterhouseCoopers (PWC), “ O número de contratos de derivativos de clima aumentou de abril 2002 para março 2003 em 300%. Isso reflete o interesse crescente na Ásia e na Europa, assim que houve o aumento dos contratos operados no Chicago Mercantile Exchange (CME)”. Contratos futuros de temperaturas e opções, mensais e sazonais se desenvolveram muito no CME. O reconhecimento dos contratos de clima do CME trouxe condições para algumas empresas de fazer o “hedge” de alguns de seus riscos através dos derivativos de clima. O mercado das temperaturas de verão conheceu um aumento de número de cidades participantes, para atingir 15 cidades americanas com contratos mensais e 10 cidades americanas com contratos sazonais, operados no CME’s GLOBEX ® electronic trading platform. No dia 3 de outubro 2003, o CME adicionou contratos futuros e de opções para cinco cidades europeias a fim de aumentar o portfólio de contratos de clima, o que foi uma excelente notícia para aqueles que queriam fazer um hedge na Europa.

1.4.2 O nascimento de um novo mercado

Várias razões podem explicar o crescimento do mercado dos derivativos de clima. Primeiramente, a homogeneização do mercado dos capitais com o mercado de seguros. O crescimento em termo de volume de contratos das catástrofes bonds, também chamado de CAT bonds, assim que a introdução das opções de catástrofes que são operadas no Chicago Board of Trade (CBOT) são provas desse processo. Os derivativos de clima são uma extensão lógica dessa tendência, sendo que, o mercado desses derivativos deu um passo para frente durante o inverno 1997-98 com o fenômeno El Niño, um dos mais importantes da história. Esse evento foi único em termo de propaganda que ele recebeu na imprensa americana. Várias empresas, conscientes de uma provável perda de lucro devido a esse inverno não comum, decidiram se proteger contra o risco de clima sazonal. Os contratos derivativos de clima são particularmente interessantes para as empresas que têm experiência com as opções e contratos futuros comuns. “A indústria de seguro estava num período com poucos prêmios a serem pagos e tinha a liquidez suficiente para fazer o hedge de riscos de clima. O importante número de opções contratadas deu a liquidez para poder desenvolver um mercado mensal e sazonal de clima.

1.4.3 Desenvolvimento atual

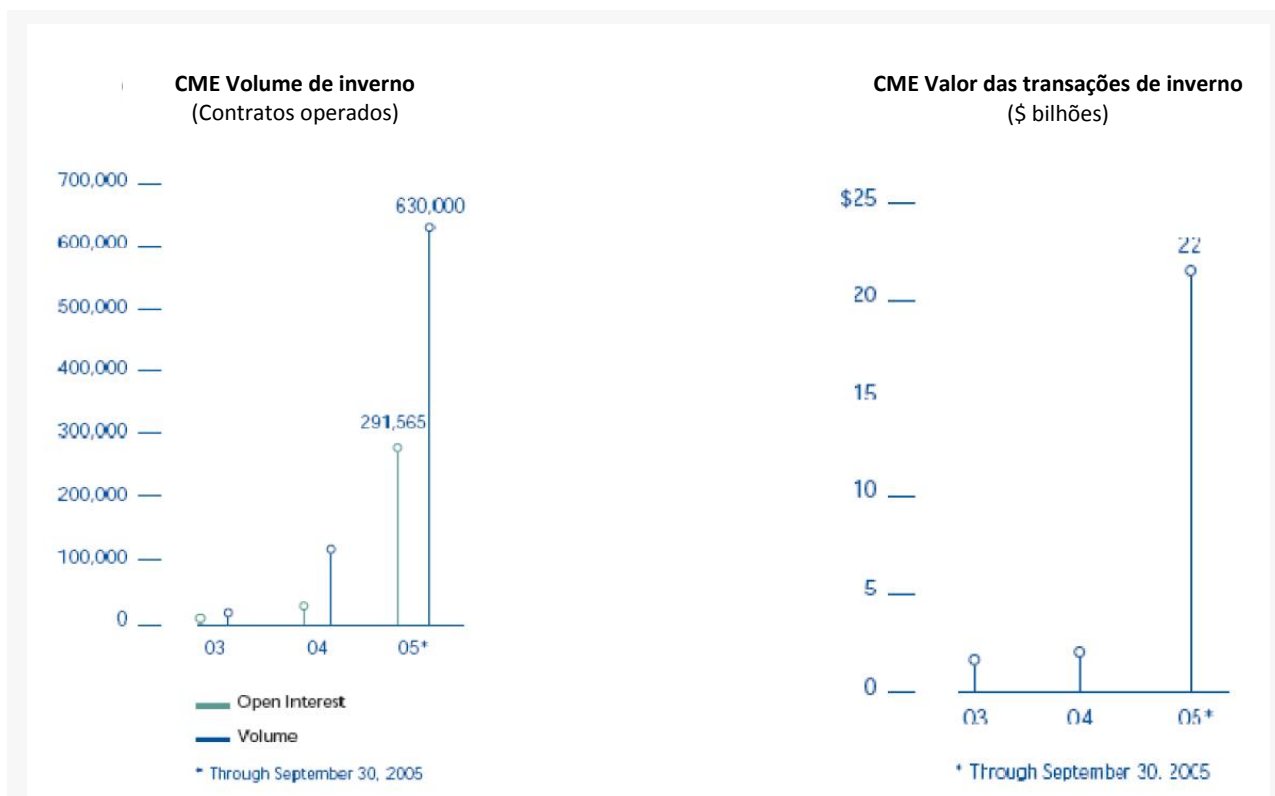
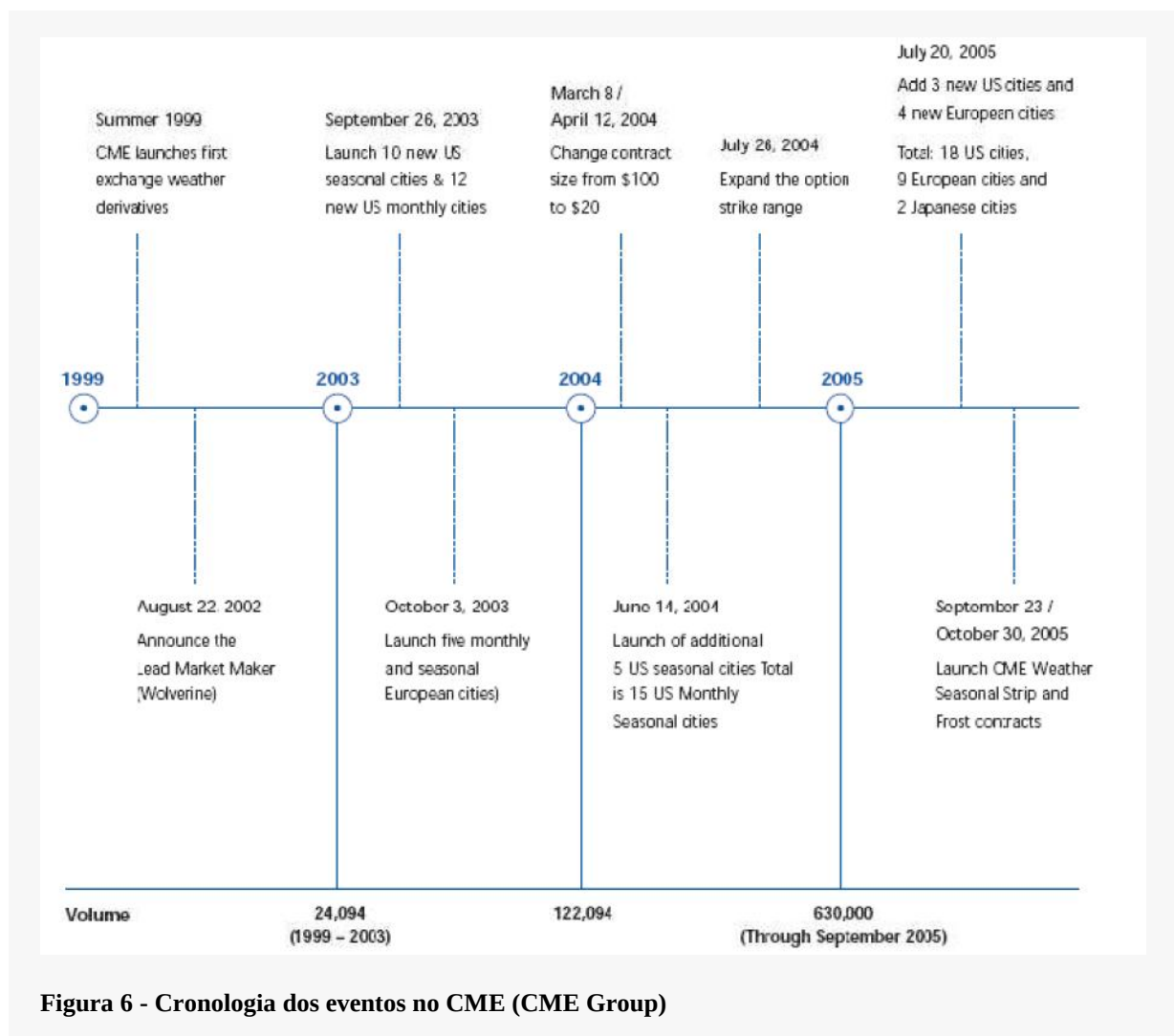


Figura 5 - Volume de transação no CME (CME Group)

Nesses últimos 20 anos, o mercado dos derivativos de clima foi criado. Um estudo feito pelo Weather Risk Management Association (WRMA) e PricewaterhouseCoopers em junho 2008 divulgou um volume de transações para o ano 2007/2008 de US\$32 bilhões no mercado organizado (bolsa), ou seja, um aumento de 76% em comparação com o ano anterior. O número de transações - futuros e over-the-counter (OTC)- atingiu 985 000 contratos para 2007/2008, ou seja, um aumento de 35% entre os anos 2006/2007. Assim, no over-the-counter e no CME Group, os derivativos de clima estão amplamente disponíveis para as empresas que desejam otimizar sua estratégia de portfólio e fazer o hedge dos seus resultados financeiros contra o impacto de uma diversidade de variáveis de clima, como temperatura, chuva ou neve ainda. Porém, além das companhias em relação à energia, poucas empresas estão operando esses novos tipos de contratos. O mercado dos derivativos de clima está atualmente se desenvolvendo como o mercado de CO2.

1.5 Os principais atores desse mercado

O CME Group oferece contratos futuros de clima ou opções para quarenta e duas cidades no mundo.



O CME opera atualmente contratos de derivativos de clima para 18 cidades dos Estados Unidos, 9 na Europa, 6 no Canadá e 2 no Japão. A maioria dos contratos está sendo feita sobre o Cooling Degree Days ou Heating Degree Days, ou seja, sobre a temperatura. E recentemente, sobre as quedas de neve em Nova York, Boston e Filadélfia.

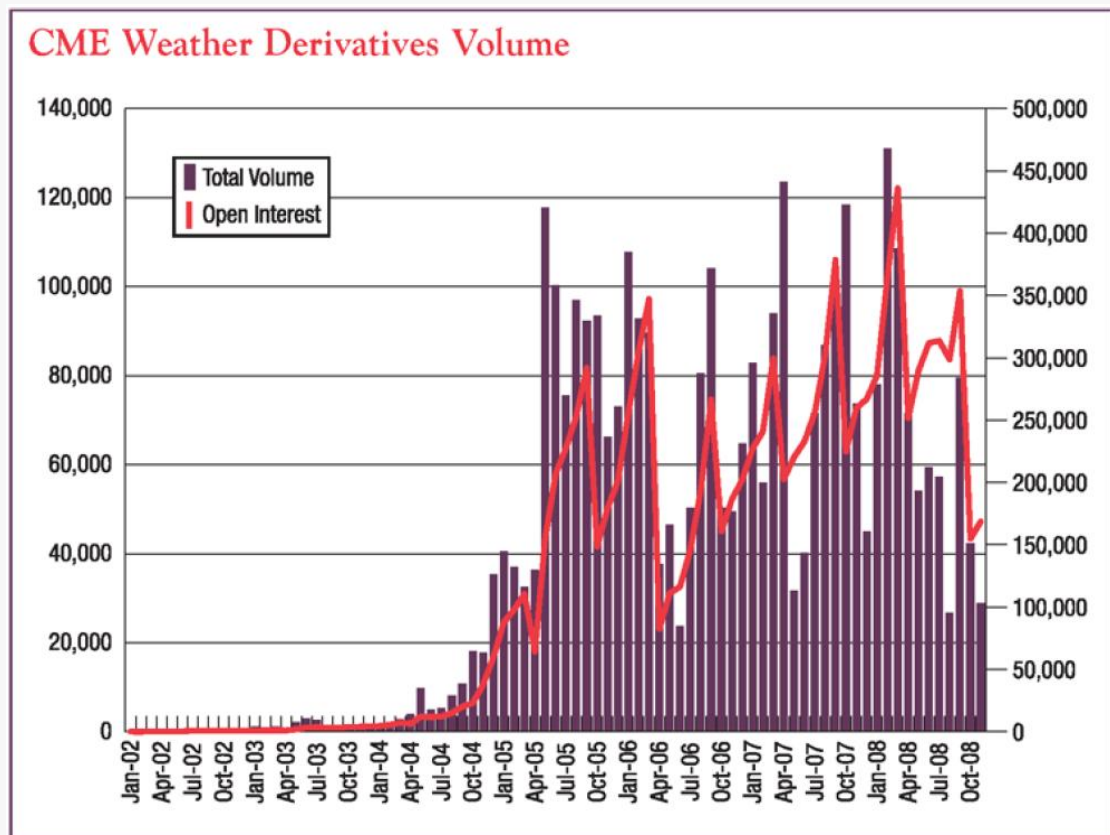


Figura 7 - Volume das transações no CME (CME Group)

E os setores interessados:

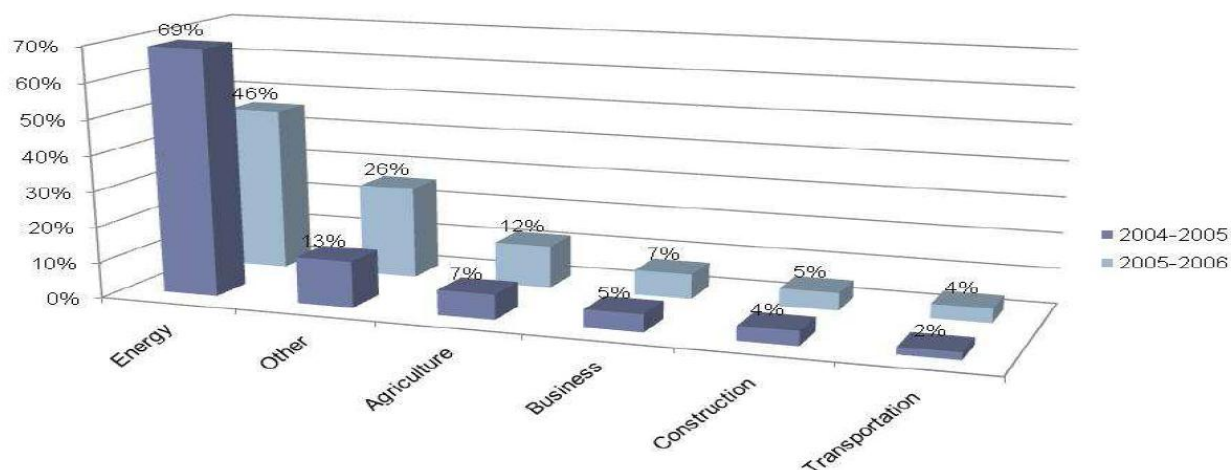


Figura 8 - Setores impactados com riscos de clima

1.6 Quem são as corretoras no mercado?

As corretoras não têm por enquanto um papel muito importante nesse mercado. Segundo Peter Brewer, ex associate na Aquila Europe, as corretoras de seguro têm papel somente em 5% das transações totais. Porém, os contratos que propõem os seguros tendem a ser maiores nos próximos anos. A história dos derivativos de clima ainda é curta. As corretoras estão se interessando cada vez mais nesse tipo de produto. Os principais participantes no passado eram traders de energia. Porém, recentemente, alguns bancos entraram nesse mercado como, por exemplo: Os bancos franceses, como Société Générale e Calyon, alguns alemães, como Deutsche bank ou Dresdner Bank e o Banco Nazionale del Lavoro em Roma. Também, hedges funds de derivativos de clima estão surgindo, esperando tornar esse mercado mais líquido nos próximos anos. Pode-se citar como exemplo Climetrix e Galileo Weather. As operações OTC são relativamente difíceis de achar, mas seguem alguns exemplos de transações sucedidas:

Tabela 2 - Principais transações no mercado de balcão

Ano	Participante 1	Participante 2	Subjacente	Descrição da transação
1999	Société Générale	Socccram, France	T°C	Produto Collar a fim de proteger a Socccram contra a queda das temperaturas entre Outubro e Abril e trazer uma compensação nos dois sentidos
1999	ENRON	Bombardier, Canada	Neve	Oferta marketing onde Bombardier oferece \$1000 para um dos seus produtos se a quantidade de neve esta abaixo de 50% da média dos 3 anos anteriores
2001	ENRON	Comey and Barrows Wine Bars, UK	T°C	Compensação de £15000 se a temperatura cai abaixo de 24°C cada quinta e sexta feira entre junho e setembro - limitado a £100000
2001	Dresdner, Kleinwort, Wassetstein	GGEW, Germany	T°C	Proteção do produto de eletricidade sobre GGEW que não é suficiente quando a temperatura esta abaixo de 2°C
2002	N/A	Gut Paeldorf Golf Club, Germany	Chuva	Compensação para o Golf resort para cada dia de mais de 1mm de chuva, a partir de 50 dias, entre maio e setembro
2002	ABN Amro	Building Company, Netherlands	Gelo	Opção de 5 anos para proteger contra mais de 20 dias de gelo entre novembro e março na area do aeroporto de Schipol
2003	N/A	Club Méditerranée, France	Neve	Se o nível de neve cobre menos que 50% da area de ski inteira, o Club Med compensa os clientes
2004	Crédit Lyonnais	SHP, Australia	Chuva	Produto Collar que protege SHP no caso de uma insuficiência de chuva e que paga se chueu demais
2005	TFS Energy	CentricaEnergy, UK	T°C	Opção asiatica lookback com valor nominal de 70 milhões sobre a média de T°C dos 50 dias mais frios do 4o quadrimestre de 2005
2006	AXA Re	Word Food Program, Ethiopia	Cumul. Precip.	Opção sobre 7,1 milhões para um preço de K\$990 para proteger contra seca entre março e outubro

1.7 Os produtos

Os atores do mercado podem comprar seus hedges da mesma forma que os subjacentes mais tradicionais: futuros, opções, collars ou swaps, segundo que seja uma proteção com outra empresa ou através de um contrato padrão negociado no CME. Contrariamente a um contrato de seguro tradicional, um derivativo de clima não implica para o comprador o fato de ter de provar que sofreu perdas financeiras para poder receber o prêmio. Este contrato depende unicamente do índice referenciado.

1.7.1 Os tipos de subjacentes

A temperatura é com certeza o subjacente mais comum. Mais ou menos 75% das transações no CME são baseadas na temperatura e 95%, no OTC, enquanto a chuva representa respectivamente 10% e 3%. O subjacente mais comum é ligado à noção de Degree Day que é representada como a diferença entre a temperatura de referência (65°F ou 18°C) com a média

da temperatura T do dia. A média é calculada a partir do máximo e do mínimo gravado durante o dia.

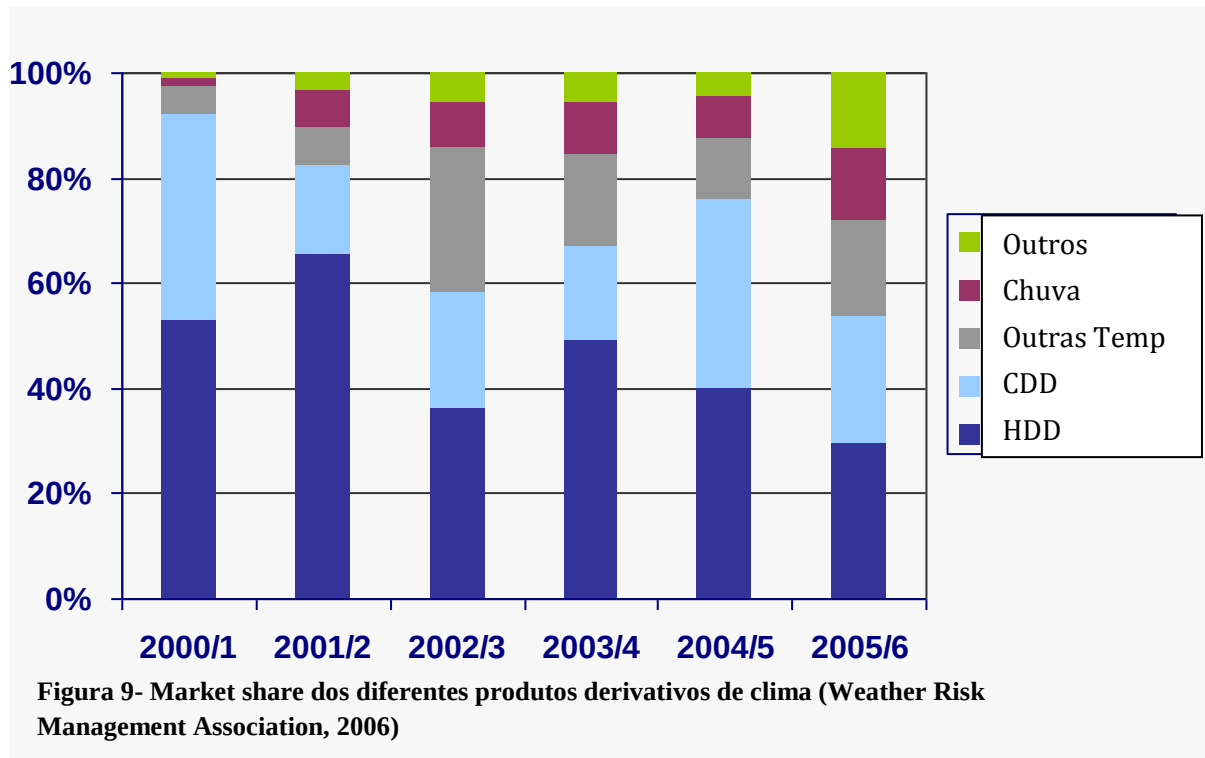
Tabela 3 - Cronologia dos eventos no CME (CME Group)

Tipo de risco	Índices	Market share dos derivativos de clima
Temperatura	Cooling Degree Days Heating Degree Days Energy Degree Days Growing Degree Days Variable Degree Days Critical Temperature Days Average Maximum / Minimum	95% (mostly HDD and CDD)
Chuva	Dias de chuva críticos e sucessivos	3%
Neve	Dias de neve críticos	2%
Sol	Dias de sol críticos	NA
Outros	Força do vento, gelo	NA

Porém, alguns outros contratos são baseados sobre outros tipos de “assets”:

- Queda de neve
- Vento
- Intensidade do sol
- Furacão

Os contratos sobre a chuva deveriam se desenvolver no futuro em lugares como Quebec ou Europa do norte, ou a hidroeletricidade e largamente utilizada. Em 2000, 2,2% dos derivativos de clima eram sobre a chuva para um valor notional de 6,6%. Também, cada vez mais há contratos que dependem da temperatura e das precipitações. Na agricultura, a combinação temperatura mais chuva possui um impacto muito grande.



1.7.2 The Weather Index

Quando se fala de derivativos de temperatura, deve-se definir primeiramente o índice correspondente. Além de ser necessário definir degree days, que é a norma aplicada no CME a fim de precificar os contratos futuros ou opções. Um **Heating Degree Day (HDDi)** é definido dessa forma:

$$\text{HDDi} = \text{Max}\{\text{temperatura de base} - T_i, 0\}$$

$$\text{Onde } T_i = (T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) / 2$$

A temperatura de base é geralmente 65°F, mas que pode ser 75°F nas regiões muito quente. Quando maior o HDD, mais frio a temperatura é, consequentemente maior é a demanda para aquecer. Por exemplo, se a média do dia for 60°F, precisa-se de 5 graus de calor (HDD=5). Contrariamente, se a média for 70°F, não se precisa aquecer e o HDD é igual a 0.

De maneira similar, o Cooling Degree Day (CDD) é definido da maneira seguinte:

$$CDD_i = \text{Max}\{T_i - \text{temperatura de base}, 0\}$$

Podem-se definir os HDD e CDD como a seguir:

$$CDD_m = \sum_{i=1}^n CDD_i \quad HDD_m = \sum_{i=1}^n HDD_i \quad (1)$$

WBAN #	Calculo do HDD (Temperatura de base = 65 graus Fahrenheit)							Total HDDs
Dia	1	2	3	4	5	6	7	
Média da temperatura diária	50	48	55	67	61	51	49	
HDD	15	17	10	0	4	14	16	76

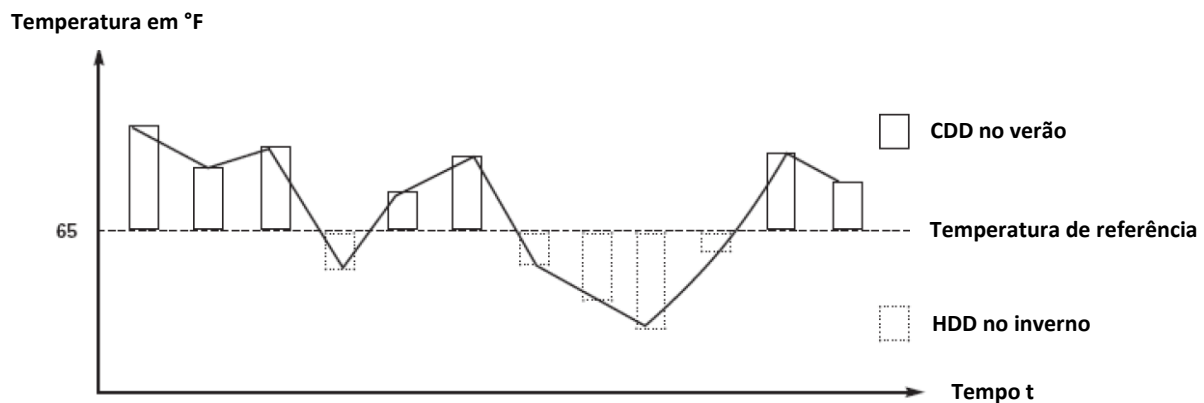


Figura 10 - Valores do CDD e HDD em função da temperatura de referência (Munich RE)

1.7.3 As opções

Opções são muito interessantes e as mais operadas no mercado OTC.

HDD call option: Contrato por meio do qual o comprador receberá uma compensação se o risco de clima estiver acima do nível predeterminado no contrato. A proteção implica um pagamento para frente do prêmio para o vendedor. Por exemplo, uma empresa que quer se proteger contra o calor pode comprar um call sobre o número de dias nos quais a temperatura vai ultrapassar um nível determinado. Isso a protege contra uma perda de ganhos no caso de um inverno anormalmente quente.

HDD put option: Contrato por meio do qual o comprador receberá uma compensação se o risco de clima for abaixo do nível predeterminado no contrato. Ainda, a proteção implica um pagamento para frente do prêmio para o vendedor. Por exemplo, na mesma lógica que acima, um hotel na praia pode comprar um put sobre o número de dias em que a temperatura média será abaixo de nível predeterminado.

As estratégias são as seguintes:

Tabela 4- Opções de clima operaveis (CME)

Tipo de opções	Proteção contra ...	Exercido quando	Payout
HDD call	Invernos muito frios	HDD > strike value	Tick size*(HDD-strike value)
HDD put	Invernos muito quente	HDD < strike value	Tick size*(strike value-HDD)
CDD call	Verões quente	CDD > strike value	Tick size*(CDD-strike Value)
CDD put	Verões frio	CDD < strike value	Tick size*(strike value-CDD)

As opções sobre o clima são também:

- **Lookback** (opção sobre o Máximo ou mínimo i.e. o nível de temperatura considerado é o MAX/MIN atingido durante a vida da opção). Elas são utilizadas contra os picos de demandas, por exemplo.

Lookback Call Payoff = Tick x Max(Tmax – K, 0)

Onde o **Tick** é a sensibilidade do retorno com uma variação de 1°F da temperatura, Tmax é o Maximo da temperatura (em Fahrenheit ou Celsius) observado durante a vida da opção e K, a temperatura de referência.

- **Asiáticas:** (opção sobre a média da temperatura a fim de minimizar as extremas). Essas opções são utilizadas a longo prazo.

Asian call payoff = Tick x Max(CumDD – K, 0)

Onde o Tick é o mesmo que antes, CumDD é a temperatura média e K, a média da temperatura de referência em degree Day acumulado.

Exemplos de estratégias de trading com opções put e call sobre a temperatura.

Os traders de gás esperam que o mês de março de uma região determinada terá a tendência de ser frio e se torna comprador de gás. O trader protege sua posição com um HDD put sobre a estação de trading de clima da região. Se o tempo estiver frio, o trader vai ganhar significativamente dinheiro com a sua posição em gás considerando o custo relativamente baixo do HDD put. Se Março estiver mais frio do que o trader esperava, ele vai perder dinheiro com a sua posição em gás, mas isso será compensado inteiramente ou em grande parte com o lucro da put. O trader pode também aplicar a estratégia contrária.

Nota: O que é strangle ? Toma-se o mesmo exemplo do fornecedor de energia. Se o tempo é particularmente frio, não há certeza de que a companhia vai conseguir enfrentar a demanda de eletricidade. Em outras palavras, é necessário se proteger contra invernos meio quentes, mas também contra invernos muito frios. Para isso, uma solução pode ser comprar uma HDD call com um strike de K1 e comprar uma HDD put com um strike K2 e $K1 < K2$, chamado de “long strangle”.

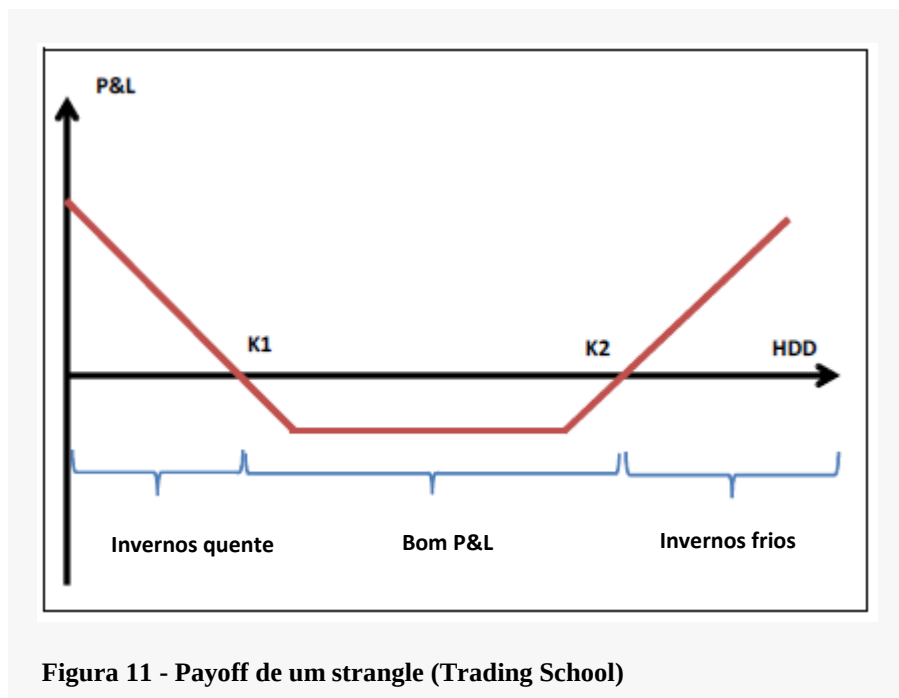


Figura 11 - Payoff de um strangle (Trading School)

1.7.4 Swaps

Os swaps de clima tem uma estrutura idêntica às dos swaps tradicionais. Só o subjacente vai mudar (T°C...). Os swaps de temperaturas são dependentes da temperatura no sentido de que a troca dos fluxos é condicionada à ocorrência de um evento ligado ao clima (por exemplo, “a média acumulada das temperaturas está acima ...”).

$$\text{Swap payoff} = \text{Min}(\text{Max}(T_i - K, 0), \text{Cap}) - \text{Min}(\text{Max}(T_i - K, 0), \text{Floor}) \quad (2)$$

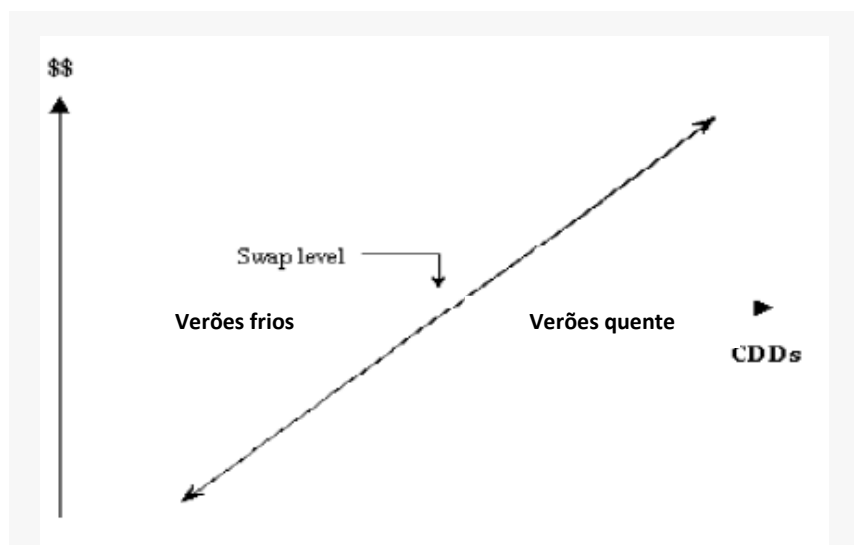


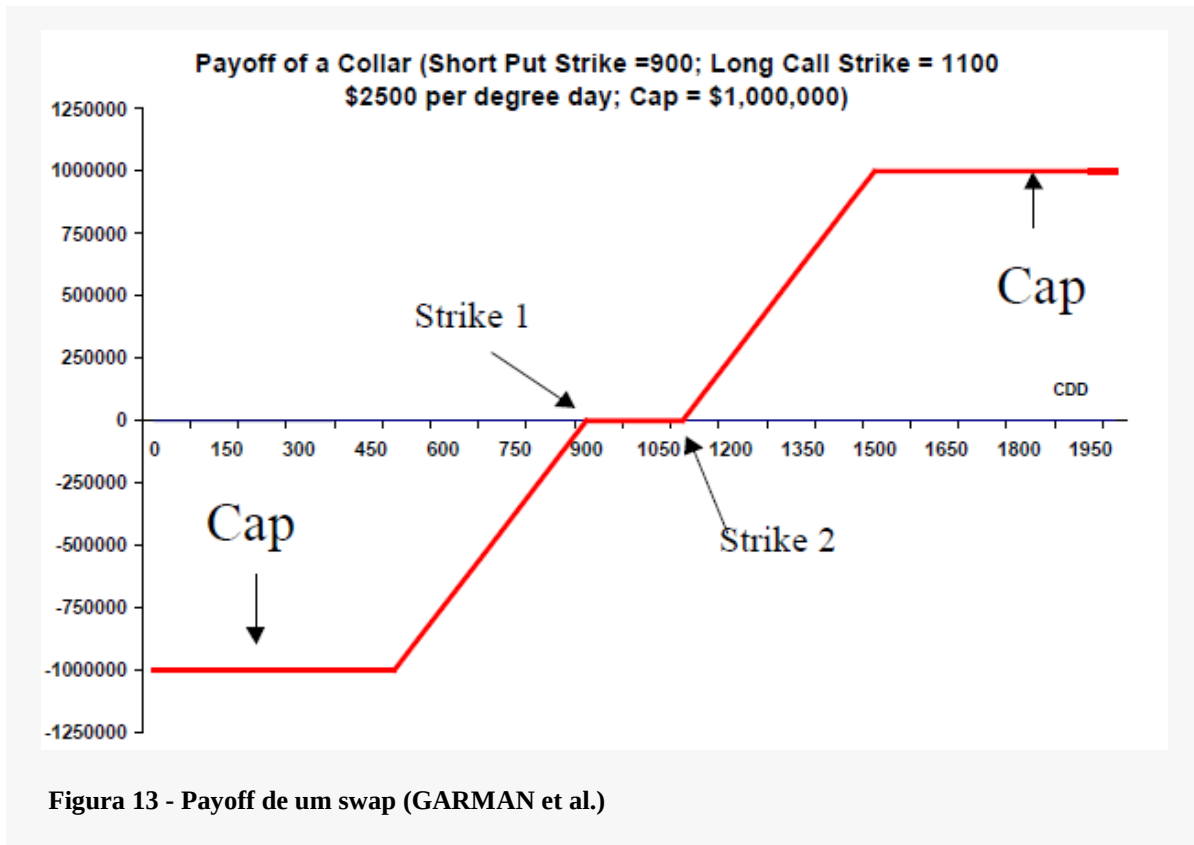
Figura 12 - Payoff de um swap (Trading School)

1.7.5 Collars ou Fence

Com frequência, as opções put e call podem ser “capped” ou “floored”. O collar é uma combinação de long capped call com uma posição de compra na floored put. É análogo ao swap com dois preços de exercícios K1 e K2.

$$\text{Collar payoff} = \text{Min}(\text{Max}(T_i - \text{Cap's strike}, 0), \text{Cap}) - \text{Min}(\text{Max}(T_i - \text{Floor's Strike}, 0), \text{Floor}) \quad (3)$$

Gráfico do payoff de um CDD collar:



1.8 Os derivativos de clima como um instrumento de gestão de risco – Exemplos na literatura.

Analisa-se alguns exemplos teóricos para entender como os derivativos de clima funcionam e como são estruturados. Neste estudo, focarei na indústria agrícola no Brasil e, principalmente, na cultura e na produção de trigo. As condições climáticas são os primeiros fatores que afetam a produção leiteira. No artigo “Weather Derivatives in the Presence of Index and Geographical Basis Risk: Hedging dairy profit risk”, Gang Chen and Matthew C. Robert estudaram o efeito do risco básico nos derivativos de clima e se a existência de um risco básico diminuía a utilidade de um derivativo de clima para a gestão do risco leiteiro. Eles mostraram que o risco de lucro do produtor é composto de um risco sistemático (as condições do tempo) e um risco idiossincrático que é relacionado ao tempo.

Apesar de o risco básico diminuir a eficiência do derivativo de clima, o resultado fica interessante e é uma melhoria considerável o uso de derivativos de clima com a diminuição de equipamentos numa gestão de risco leiteiro. Eles destacam também a importância, para a

comunidade econômica internacional, de definir um contrato ótimo de derivativos de clima. Este exemplo é interessante para entender o papel de uma opção a fim de proteger uma produção agrícola. Também o próximo exemplo dá uma boa visão de como que pode ser utilizado um instrumento derivativo de clima.

1.7.6 Vinho no Ontário

A associação nacional dos economistas de vinho (The National Association of Wine Economists) publicou, em 2007, um documento chamado “Identification of Stochastic Processes for an Estimated Ice Wine Temperature Hedging Variable”. A região do Niágara do Ontário representa a maior produção de vinho “frio” no mundo, mais de 85 fazendas na região. Porém, essa produção é muito sensível a mudança ou alteração das temperaturas durante os meses do inverno, quando a uva está sendo colhida num estado gelado para depois produzir o vinho. Cyr e Kusy (2005 e 2006) exploraram o uso potencial de derivativos de clima a fim de se proteger contra a incerteza da produção de vinho causada por uma flutuação importante das temperaturas nessa região do Canadá. Particularmente, seu estudo tentou estabelecer uma relação entre as observações diárias das temperaturas com o preço possível das opções calculado por um método de Monte Carlo a fim de calcular o preço da proteção. Fatos: é geralmente reconhecido na indústria que a temperatura ideal para colher a uva destinada à produção de vinho “frio” deve ser entre -8°C e -12°C . Abaixo de -12°C acontece que a quantidade de suco diminui significativamente. O maior problema é que, no caso de um inverno não muito rigoroso, talvez nenhuma uva possa ser colhida (inverno do El Nino em 1997-1998). Neste artigo, eles consideram um modelo de precificação de uma put baseada sobre uma variável de temperatura refletindo o risco. Nesse caso, o payoff da opção seria o número de horas ótimas de produção.

Este produto concerne 85 fazendas na região do Niágara. Eles definam a temperatura $T^{\circ}\text{C}$ ótima de colhimento (entre -12°C e -8°C) em Novembro, e definam ainda duas variáveis:

VAR 1 que certifica que $T_{\min}$ é abaixo de -8°C cada dia i .

VAR 2 que certifica que $T_{\min}$ é $<-8^{\circ}\text{C}$ mas $>-12^{\circ}\text{C}$

Depois, eles fazem uma regressão do número de horas produtivas com T_{min} , $Var\ 1$ e Var e o resultado mostra $R^2=57\%$. Assim, eles provam que a produção de vinho é altamente dependente da temperatura mínima T_{min} e da sua amplitude $[-12^\circ C; -8^\circ C]$.

Finalmente, eles estruturaram e precificaram a opção put depois ter modalizado com as observações de temperaturas. Eles focaram sobre o payoff de uma put que dava lucro quando a amplitude definida não estava respeitada e encontraram os mesmos resultados do método de Monte Carlo (definido mais para frente). O strike era 170.

Burn Rate Method price: \$45,7K

Monte Carlo method price: \$44,4K

Essa metodologia será a base para nosso caso de produção de trigo.

1.7.7 O Banco Mundial na Índia

Dentro das numerosas estruturas do banco mundial, o Commodity Risk Management (CRMG) tem por objetivo principal tratar as questões do risco agrícola nos países desenvolvidos onde a agricultura é definida como “negative outcomes stemming from imperfectly predicatble biological, climatic and price variables”. O objetivo desse projeto era de proteger os fazendeiros da *secura* durante o período de crescimento das nozes que corresponde ao Khariff (a estação de monção, entre junho e setembro). O que foi usado é um derivativo financeiro baseado sobre um índice de clima. Este índice sobre a chuva foi estabelecido cuidadosamente por fazendeiros e biólogos a fim de representar o impacto real da chuva sobre o crescimento das nozes. As diferentes etapas de crescimento foram levadas em conta a fim de ponderar cada subperíodo da estação considerada. Se o nível de chuva era insuficiente, o contrato ia se ativar e assim os fazendeiros receberiam automaticamente uma compensação financeira.

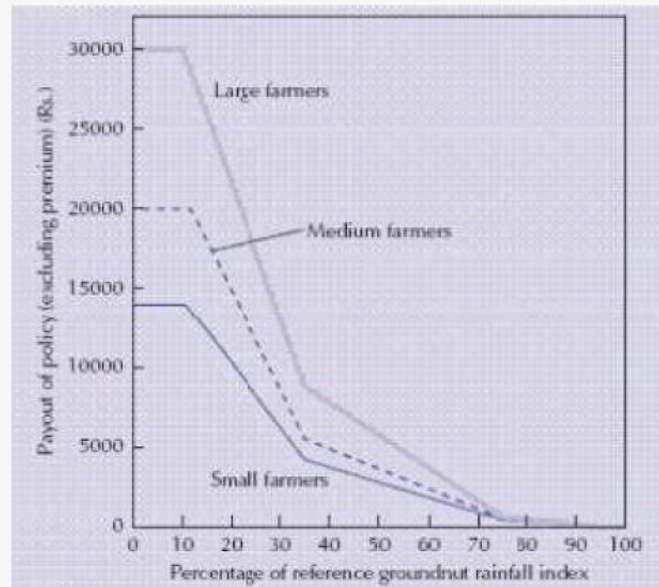


Figura 14 - Payoff (BARRIEU; SCAILLET, 2008)

Este projeto teve grande sucesso e melhorou as condições financeiras de vários fazendeiros na Índia. Os derivativos de clima foram estendidos a mais de 230 fazendas e continuam sendo utilizados.

1.7.8 As Nações Unidas

Como os derivativos de clima podem ajudar num risco de catástrofe humanitária na Etiópia? O Programa Mundial de Alimentos (The World Food Program) comprou uma cobertura de chuva de Axa Re a fim de achar uma resposta de emergência no caso da seca que houve na Etiópia em 2006. Os termos do contrato eram os seguintes:

- Type: Aggregate precipitation cover
- Period: Agricultural growing period in Ethiopia, March – October
- Form: Derivative – Call option
- Index: Precipitation as measured at 26 sites throughout the country, converted into crop water-stress indices and combined in a national basket

- Trigger: Crop water-stress index above a pre-specified level at the end of the season indicating wide-spread drought and crop failure
- Limit: \$7,1 million
- Premium: \$0,93 million

Este instrumento paga imediatamente acima da condição da seca – i.e. crop water-stress acima do nível do trigger. Uma resposta de um donator normal leva vários meses antes que os fundos estejam disponíveis. A disponibilidade rápida dos fundos significa que o Programa Mundial dos Alimentos pode fornecer em um breve tempo sua ajuda, reduzindo a miséria, limitando a dependência da população das ajudas externas e, finalmente, reduzindo o custo total das organizações humanitárias para a crise.

O que aconteceu: O nível de chuva em 2006 ficou acima da média da Etiópia e o call não foi exercido. O Programa Mundial dos Alimentos estabeleceu um mecanismo de no mercado de risco mundial se adicionando à ajuda tradicional das organizações humanitárias. Axa Re demonstrou bons métodos para trabalhar eficientemente sobre problemáticas técnicas e ligadas a problemas complexos. Essa transação teve repercussão em revistas do mundo inteiro, incluindo algumas financeiras.

1.9 Porém, os derivativos de clima devem ser usados cuidadosamente

Mesmo com o sucesso dessas transações, os derivativos de clima devem ser utilizados com uma certa atenção. Alguns fatores de riscos precisam ser observados.

1.9.1 O risco básico – basis risk

O risco básico é o risco que surge quando o contrato estabelecido se baseia em um índice de clima localizado fora dos pontos cobertos pelas estações oficiais. O mercado dos derivativos de clima nos Estados Unidos inclui somente 15 cidades. Se a empresa não está localizada

perto de uma dessas estações, ela terá um risco básico – basis risk. Esse risco é muito importante para a pessoa ou a empresa que quer se proteger. Esse fenômeno é particularmente verdade para a chuva, que é um fenômeno local que causa muitos problemas na precificação dos derivativos associados. Para reduzir esse risco básico, o “hedger” pode usar derivativos clássicos, como swaps ou opções. Porém, sendo contratos no OTC (Over the Counter market), eles podem trazer um risco de crédito para o “hedger”.

1.9.2 Problemas de liquidez e vencimento

Os derivativos de clima não são líquidos. A liquidez de um produto é geralmente a facilidade de trocar/operar uma posição no mercado. De fato, uma regulação pouco clara, a ausência de um modelo eficiente de precificação e a complexidade dos dados meteorológicos levam a uma falta de liquidez dos derivativos de clima no mercado. Uma prova disso: O “spread” importante no mercado, mesmo se as margens dos produtos OTC são às vezes menores que esperadas. Esses spreads chegam a 30%- 40%. A informação é geralmente assimétrica: os compradores dos derivativos de clima são, com frequência, mais informados sobre os dados meteorológicos que os vendedores desses produtos. E também, a falta de liquidez vem da natureza mesma dos derivativos de clima: Eles são vistos pelos compradores como um verdadeiro contrato de seguro, que tem que guardar até o vencimento, e não como um instrumento de especulação. É rara a mudança das posições das pessoas antes do vencimento do contrato. A lógica no mercado é mais que esses derivativos são instrumentos de seguro que um verdadeiro instrumento financeiro.

1.9.3 Os maiores problemas: A modalização do subjacente e a precificação

Por causa de um mercado pouco líquido, os modelos assumindo nenhuma oportunidade de arbitragem não funcionam. Precificar esses instrumentos, geralmente opções sobre a temperatura, é delicado. Black-Scholes-Merton, a clássica metodologia de precificação de uma opção, é baseado na noção de um “hedge” contínuo de suas posições. Esse conceito

funciona muito bem quando o subjacente da opção é uma commodity, uma moeda, uma ação ou outros ativos tangíveis que podem ser operados no mercado à vista. Mas no caso dos derivativos de clima, o subjacente não é operável. “You can’t buy a sunny Day” disse um homem. A partir da literatura, pode-se concluir que a precificação de uma opção de clima é uma mistura entre técnicas atuariais e do mercado, com um enfoque maior sobre o lado atuarial na maioria dos casos. Para localizações em que o swap não está sendo operado, e onde não são altamente correlacionadas com as localizações nas quais o swap está sendo operado, um valor atuarial é a única solução. Para localizações em que o swap está sendo operado ativamente, um cálculo usando o conceito de arbitragem é um pouco relevante por causa da possibilidade de “hedge” dinâmico usando o swap. Uma solução pode ser então usar o preço do mercado.

CAO e WEI (2000) usam um argumento para concluir que o preço apropriado para uma opção de clima é o payoff esperado.

Detalharei mais adiante os diferentes modelos, com suas vantagens e problemas.

É importante ressaltar que a liquidez desse mercado de derivativos depende fortemente da capacidade de oferecer um preço ‘justo’. Sem nenhum método confiável, rigoroso e transparente, o sucesso desse tipo de derivativo será relativo. Para esta razão, este estudo tentará usar diferentes métodos disponíveis a fim de obter um preço mais justo possível.

1.9.4 Uma consequência: O agro business está reticente ainda ao uso dos derivativos de clima

“Unpredictable weather puts profits at agribusinesses at every Day. If this wasn’t enough to motivate them to use weather derivatives in the past decades, can anything?”. (Ian Hart – “How Will agrobusiness weather a storm”, The Public Ledger, Março 2009). O agro business não é um usuário dos derivativos de clima. Segundo the Weather Risk Management Association, isso pode ser explicado por três razões:

Por muito tempo, os preços das commodities eram muito baixos. Então o valor do risco não era dramático

A existência de seguros baratos propostos pelos governos (principalmente nos Estados Unidos e no Canadá) ajudava muito os fazendeiros.

Finalmente, diferentemente da energia, achar o melhor índice de proteção não é fácil.

“There is a complex recipe of temperature, rain and sunshine at various points through the growing season that are key for crop development or yields or brix levels. I don't think the crop models are the nailed down. If you had a crop model based on weather inputs you believed the logical step would be to go and make a weather product around that crop model”. M.MALINOW, Head of the Weather Management Risk Association, 2006.

Há também o fato de que poucos derivativos de clima sobre a chuva existam por enquanto, instrumentos que poderiam interessar a agricultura. Porém, a crescente diversidade proposta pelo CME faz acreditar que o agro business vai cada vez mais usar essas ferramentas.

Transição: Meu estudo sobre a indústria do trigo no Brasil

Nessa próxima parte do trabalho, focarei na indústria do trigo no Brasil. O trigo é completamente dependente das condições climáticas, principalmente da temperatura, e considero que um mercado de derivativos de clima poderia se desenvolver a fim de proteger as produções, assim como o suprimento do trigo. Primeiramente, estudaremos o mercado do trigo no Brasil e os diferentes riscos que podem ocorrer durante a fase produtiva. Demonstrarei que a temperatura é um dos principais fatores no nível da produção. Depois, vou tentar modelizar essa temperatura e finalmente construir um modelo e precificar, de acordo com vários modelos com que compararei, um derivativo de clima aplicado a essa parte específica da agricultura no Brasil. Com certeza, as diferentes problemáticas de precificações serão expostas.

2. A produção de trigo e seus fatores

2.1 Características da produção

2.1.1 Produção

O trigo é uma commodity agrícola cujo preço varia diariamente conforme a oferta e a demanda do mercado mundial. Entre as safras 1987/1988 e 2009/2010, a produção mundial nunca se estabilizou, mas conheceu grande volatilidade. Porém, nota-se que há a tendência de aumento de produção. De acordo com os dados da USDA de 2009, o volume total para o ano 2009/2010 era de mais ou menos 678 milhões de toneladas, representando assim um leve decréscimo de 0,60% frente ao montante produzido na safra 2008/2009 de 682,65 milhões de toneladas.

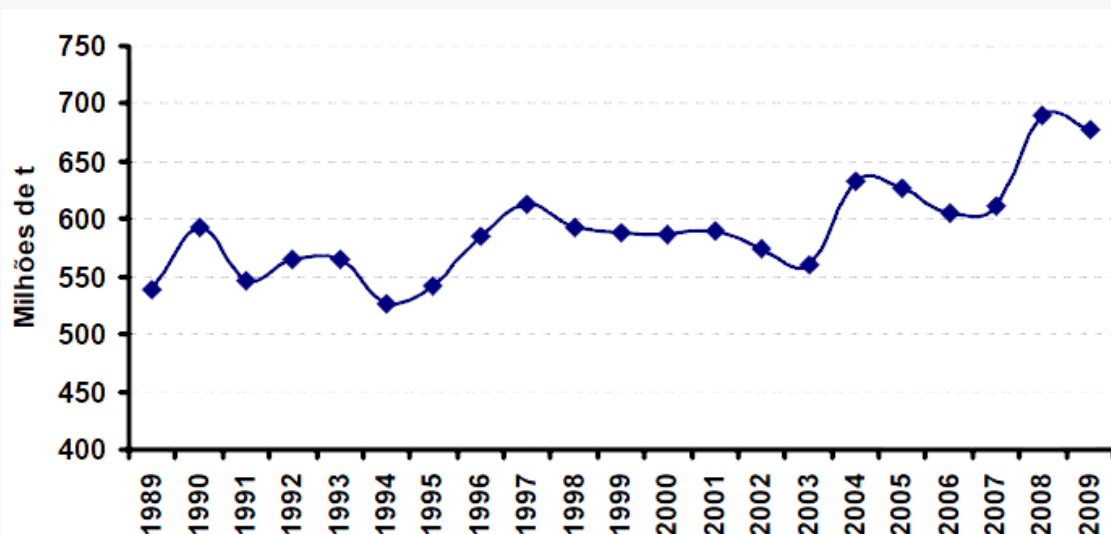


Figura 15 - Produção do trigo no mundo (USDA, 2009)

Os principais países produtores são: a União Europeia, a China, a Índia, os Estados Unidos e, enfim, o Canadá. Em média, entre as safras 1987/1988 e 2009/2010, a produtividade melhorou de 1,55% a.a., para chegar a 3,3t/hectare. O recorde foi obtido pelo Reino Unido durante a safra 2008/2009, chegando a uma produtividade de 8,28 toneladas por hectare.

No Brasil, a produção de trigo sempre oscilou significativamente, havendo momentos de auto-suficiência na produção até a quase total independência de importações. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção brasileira de trigo, em 2008, totalizou 6,03 milhões de toneladas, com uma área colhida de 2,42 milhões de hectares e rendimento de 2,49 toneladas por hectare.

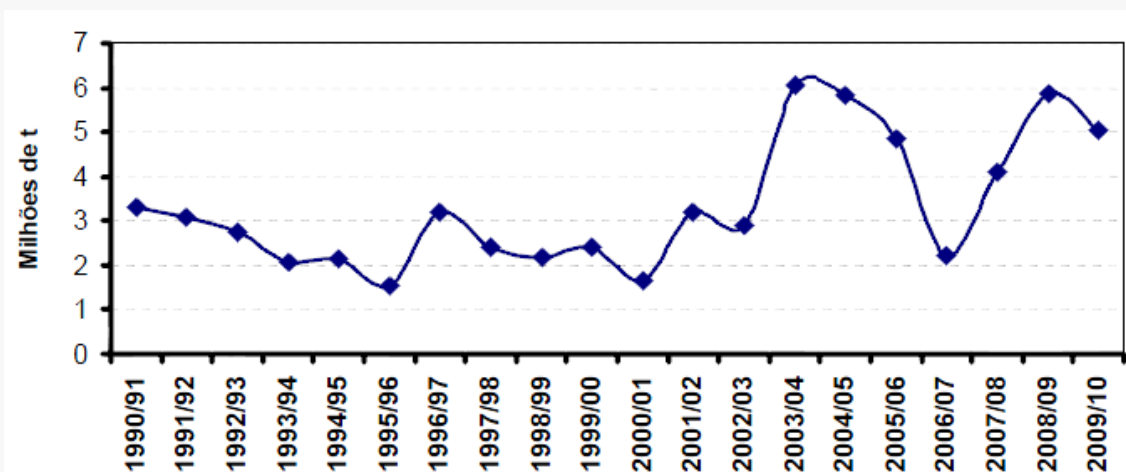


Figura 16 - Produção do trigo no Brasil (USDA, 2009)

A produção de trigo no Brasil é relativamente baixa em comparação com outros países do mundo. Com 5 milhões de toneladas produzidas em 2010, o que representa cerca de 0,75% da produção mundial de trigo, o país é fortemente dependente da importação.

**Produção (em mil toneladas) de trigo no mundo, nos 10 principais países e no Brasil –
2008 a 2010**

Tabela 5- Produção mundialde trigo para as safras 2008/09-2009/10 e previsões 2010/11 (TRIGO Socioeconomia)

Países	2008/09	2009/10	2010/11
Mundo	683.153	680.037	668.521
União Européia - 27	151.004	138.881	142.966
China	112.464	114.500	112.000
Índia	78.570	80.680	80.000
Rússia	63.700	61.700	57.500
USA	68.016	60.314	56.262
Canadá	28.611	26.500	24.500
Paquistão	20.959	24.033	22.600
Austrália	21.420	22.500	22.000
Ucrânia	25.900	20.900	20.000
Turquia	16.800	18.000	17.500
Brasil	4.081	5.884	5.023

Fonte: USDA (<http://www.fas.usda.gov>) (jun/2010); * CONAB, 2010; Elaboração: Embrapa Trigo/Socioeconomia

Como se pode ver no gráfico seguinte, a produção atual só consegue suprir 40 % da demanda.

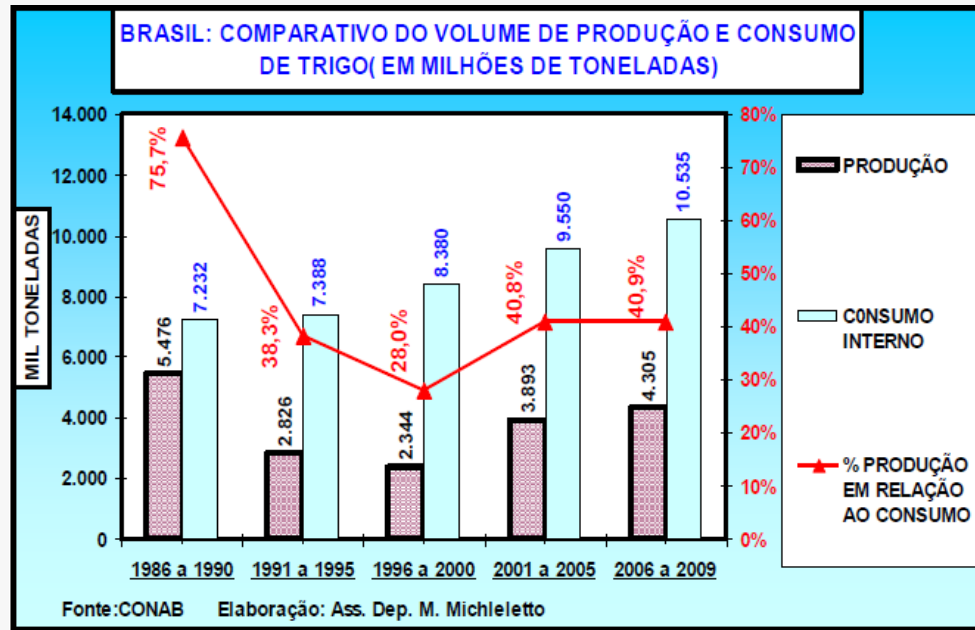


Figura 17 - Produção Brasileira de trigo em relação com o consumo interno (CONAB)

As grandes variações no volume de produção presente nesse gráfico, observadas principalmente durante os anos noventa, podem ser explicadas pelo fato de que a política de trigo foi nacionalizada no começo da década e teve então como consequência uma queda muito importante no volume de produção, enquanto o consumo continuava a crescer. Felizmente, no começo dos anos 2000, o volume produzido começou a aumentar e suprir uma porcentagem mais importante do consumo nacional. Como o mostra o gráfico seguinte, isso não é o resultado de uma expansão da área cultivada, mas de uma melhoria na produtividade de cada parcela, devido ao avanço tecnológico.

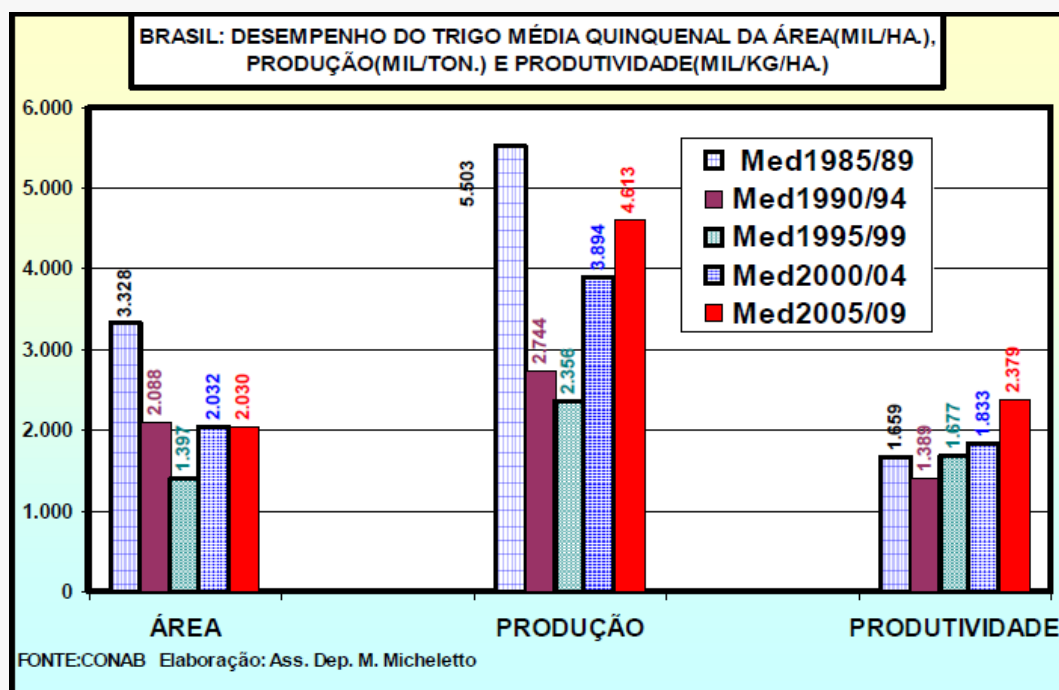


Figura 18 - Desempenho do trigo Brasileiro (CONAB)

Fica claro nessa figura que graças às melhorias tecnológicas, os produtores conseguiram obter um rendimento bem melhor do que alguns anos atrás. Essencial para o Brasil em termo de competitividade, essa busca por um trigo que renda mais é umas das principais preocupações por várias razões. Hoje em dia, por questões de câmbio e do custo da mão de obra, é mais interessante para uma fábrica de alimentos comprar trigo no mercado internacional, principalmente vindo da Argentina, pois o preço levando em conta a logística mais a produção fica abaixo de um trigo produzido no Brasil. Um aspecto muito importante para os produtores brasileiros, para tentar inverter essa tendência, seria ter uma planta ainda mais produtiva com uma diminuição dos riscos de perdas, que pode ser possível com um melhor controle de doenças e pragas, conservando um custo de produção estável.

Para empenhar-se nessa tarefa, vários aspectos têm que ser considerados, sendo um deles o clima, que afeta significativamente o rendimento de uma cultura de trigo. Além de ter uma mão de obra mais barata, uma das vantagens da Argentina é a relativa estabilidade das condições climáticas e uma qualidade dos solos não necessariamente presente no Brasil. Assim, como mostraremos adiante, essas condições razoáveis de produção diminuem o uso de fertilizantes e outros produtos químicos, que representam uma parte significativa no preço do trigo brasileiro.

Tabela 6 - Áreas plantadas de trigo no Brasil, com as quantidades produzidas

Ano	Brasil		Rio Grande do Sul	
	Quantidade produzida (tonelada)	Área plantada (Hectare)	Quantidade produzida (tonelada)	Área plantada (hectare)
1990	3.093.791	3.349.956	1.168.628	988.248
1991	2.916.823	2.064.561	682.684	624.923
1992	2.795.598	1.973.120	903.139	486.964
1993	2.197.354	1.540.267	917.325	598.339
1994	2.096.259	1.472.083	806.983	554.349
1995	1.533.871	1.036.343	334.525	298.934
1996	3.292.777	1.825.648	962.600	565.589
1997	2.489.070	1.544.489	603.823	496.543
1998	2.269.847	1.423.789	538.112	379.900
1999	2.461.856	1.254.275	725.940	398.133
2000	1.725.792	1.535.723	884.507	560.550
2001	3.366.599	1.730.908	1.075.897	615.152
2002	3.105.658	2.151.831	1.126.524	800.307
2003	6.153.500	2.562.067	2.395.557	1.063.894
2004	5.818.846	2.810.874	2.061.410	1.124.845
2005	4.658.790	2.363.390	1.389.731	844.821
2006	2.484.848	1.771.519	823.062	699.451

-30%

-26%

É interessante ver e entender com essa tabela que para superfícies quase-iguais, o volume de produção pode variar muito. Um pouco mais a frente será mostrado que esse fenômeno pode ser explicado em grande parte por causa de variações climáticas.

Além de uma importância pessoal para o produtor, essas variações de qualidade e quantidades têm um impacto no preço e, conseqüentemente, na cadeia inteira de suprimento de trigo. Mais que uma variação em termo de produção, a posição do Brasil em relação à política de cultura de trigo tem um papel estratégico. Porque mais que a dependência ou não de outros países, uma maior produção no Brasil implica em mais empregos para as regiões produtoras como o Paraná ou o Rio Grande do Sul e, também, mais vendas de máquinas agrícolas, de equipamentos e de serviços.

Como o mostra o gráfico seguinte, o Brasil depende principalmente da Argentina:

Tabela 7 - Importações de trigo no Brasil (BUNGE Alimentos SA)

OFERTA & DEMANDA TRIGO BRASIL (em mil tons)			
(in 1.000 tons)		2010	2011
DOMESTICO			
PRODUÇÃO		5.500	5.000
SEED / FEED		(500)	(500)
CONSUMO		(4.100)	(4.300)
EXPORTAÇÃO		(1.200)	(1.300)
IMPORTAÇÃO			
Argentina		3.800	4.000
Canada		350	500
USA HRW		300	500
USA SRW		100	-
Paraguay		450	600
URUGUAY		1.060	500
RUSSIA / UKRAINE		40	-
POLAND			
Total importação		6.100	6.100
CONSUMO		(6.100)	(6.100)
TOTAL MOAGEM		10.200	10.400



Em um nível estratégico, essa dependência é um ponto fraco na indústria brasileira, pois depende muito do preço que os produtores vão querer. O Brasil, sendo o segundo maior mercado de biscoitos do mundo, tem uma demanda importante e crescente, o que causa alguns problemas relacionados ao fornecimento. A Argentina consegue ainda suprir a demanda, mas é possível que no futuro isso não ocorra. O crescimento da população mundial, principalmente em países como a China ou a Índia, faz com que a demanda em volume de trigo não pare de aumentar. E isso deveria ter consequências diretas no preço.

2.1.2 Produção no Brasil

Atualmente o trigo é cultivado em oito estados brasileiros, sendo a concentração no Sul do país. O principal estado produtor, em 2008, foi o Paraná, com 52,2% da produção total, seguido pelo Rio Grande do Sul, com 35% do total.

Em comparação ao ano de 2009, a produção de trigo no Brasil aumentou de maneira significativa, +14,2%, devido a condições de clima particularmente boas esse ano.

“Destaca-se que para o trigo, principal lavoura da safra de inverno, a estimativa da produção nacional, nesse mês, situa-se em 5.669.231 toneladas, apresentando, relativamente à obtida em 2009, um crescimento de 14,2% como consequência do ganho de 29,2% no rendimento médio agora estimado em 2.635kg/ha. **Ao contrário do ano anterior quando o excesso de chuvas no período de colheita causou prejuízos** às lavouras no Paraná e no Rio Grande do Sul, dois maiores centros produtores, **nesse ano as condições climáticas estão dentro da normalidade**. Os números poderiam ter sido melhores não fosse a retração na área cultivada que é menor que a de 2009 em 11,8% estando estimada em 2.152.618 há”(IBGE, 2010)

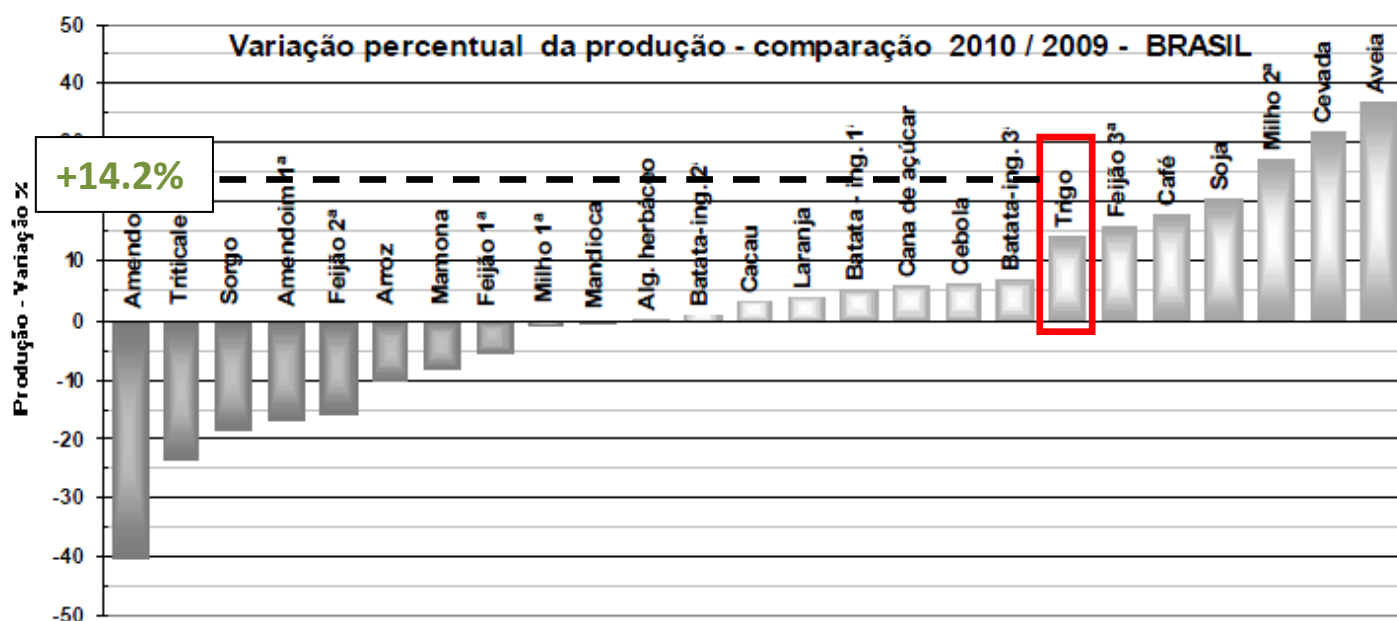


Figura 19- Variação percentual da produção agrícola entre 2009 e 2010 no Brasil (IBGE, 2010)

Em relação ao volume, esses 14,2% representam mais ou menos 700 000 toneladas a mais em comparação ao ano de 2009.

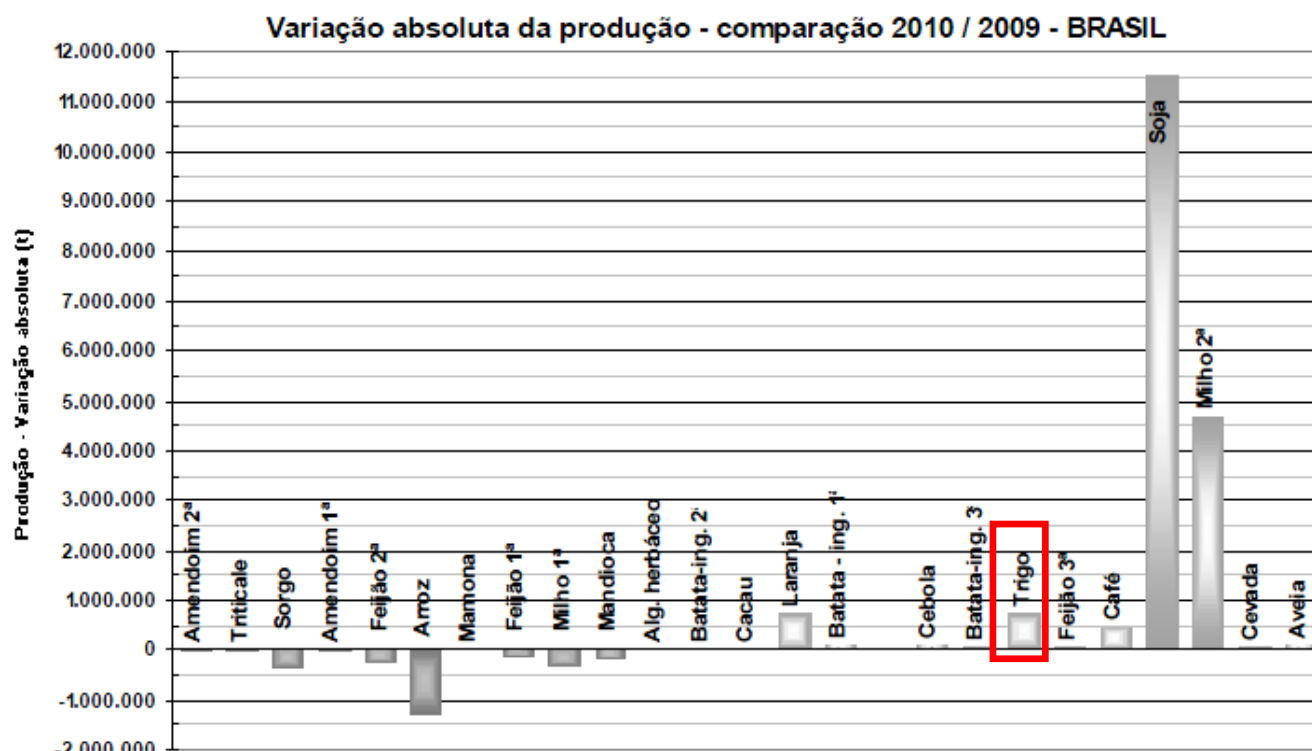


Figura 20 - Variação absoluta da produção agrícola entre 2009 e 2010 (IBGE, 2010)

Para explicar esses bons resultados, o IBGE, que monitora mensalmente a produção agrícola no Brasil, apresentou estes diferentes argumentos:

“Por não ser um País que tradicionalmente planta trigo, o mercado interno brasileiro fica extremamente dependente de importações para atendimento de sua demanda interna. Hoje, a cultura tritícola é vista como uma opção na rotação das culturas de verão, especialmente da soja, e por ser uma planta gramínea pode recompor alguns nutrientes para a próxima cultura.” (IBGE, 2010)

2.1.3 Custos de produção

Os custos de produção são um aspecto muito importante, chave, para o volume de trigo produzido no Brasil. Ele depende muito da produtividade de cada planta. Quanto maior a produtividade, maior o lucro. Com a grande instabilidade do mercado de commodities, para que o produtor possa maximizar seu desempenho econômico-financeiro, torna-se primordial a gestão eficiente do negócio agropecuário, que tem como princípios fundamentais a minimização de custos, a otimização da utilização do espaço produtivo e o aumento dos níveis

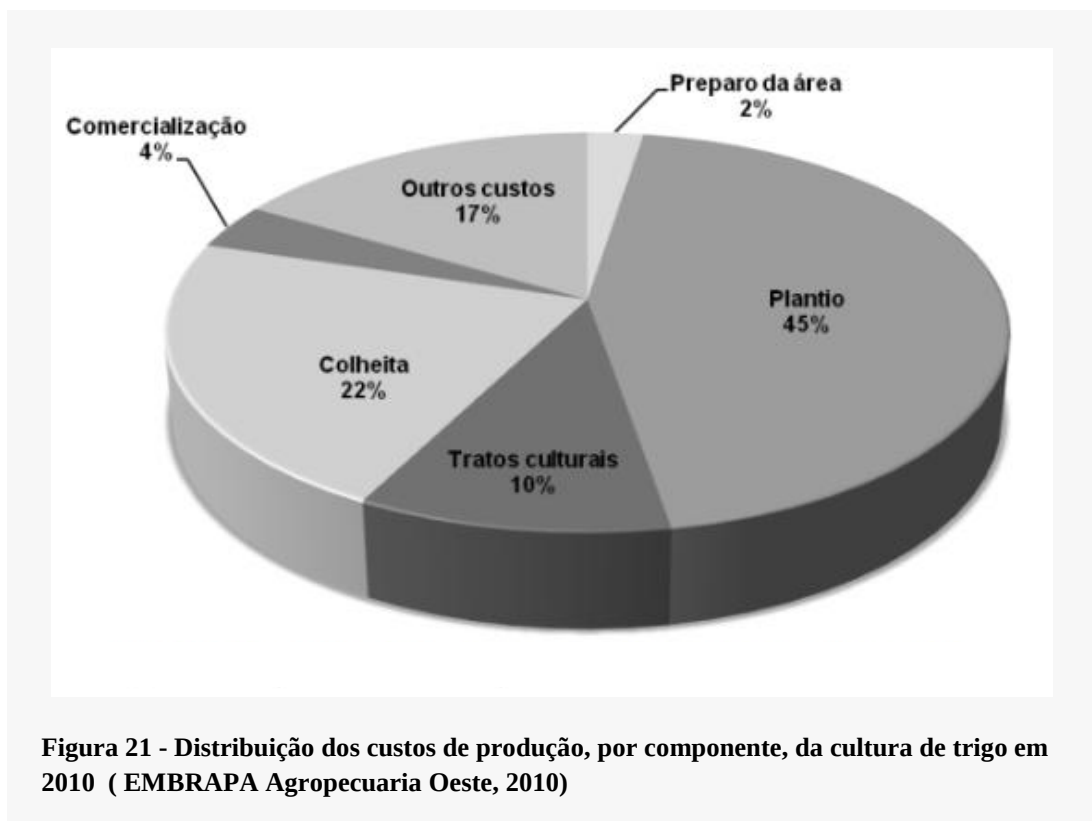
de produtividade. Um estudo muito interessante feito pela Embrapa mostra como são repartidos os diferentes custos para a produção de trigo:

Tabela 8- Custo de produção por hectare (EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2009)

Componentes do custo	Valor (R\$ ha ⁻¹)	Produtividade (sc ha ⁻¹)	Participação (%)
A - Custo fixo	290,28	12,10	29,50
Recuperação do capital	188,61	7,90	17,20
Remuneração da terra	101,67	4,20	12,30
B - Custo variável	571,31	23,80	70,50
B.1 - Insumos	380,26	15,90	44,30
Sementes	90,00	3,80	15,90
Fertilizante	171,00	7,10	20,00
Herbicidas	12,03	0,50	2,40
Inseticidas	17,50	0,70	2,80
Fungicidas	83,25	3,50	1,30
Outros insumos	6,48	0,30	1,90
B.2 Operações agrícolas	129,94	5,40	15,30
B.3 Outros custos	61,11	2,50	15,30
Custo total (A + B)	861,59	35,90	100,00

Produtividade esperada: 1.800 kg ha⁻¹.

Tabela 8- Custos de produção por hectare – Fonte Embrapa Agropecuária Oeste, Alceu Richetti



É interessante ver nesse gráfico, a importância dos custos relativos ao uso de fertilizantes e demais insumos. A fim de aumentar a competitividade do trigo brasileiro, novas espécies estão sendo criadas para ser mais resistentes às condições difíceis e aos insetos. Porque atualmente, as diferenças de preços com os países concorrentes são as seguintes:

Tabela 9- Preço da tonelada de trigo, e diferença competitiva com o Brasil (EMBRAPA, 2010)



Paridade de Importação do Trigo					
Boletim TRIGO&FARINHAS					
	Canadá	EUA-duro	Argentina	Uruguai	Paraguai
Cotação FOB Origem, US\$/ton	386,77	342,27	350,00	350,00	350,00
Cotação CIF porto Brasil, US\$/ton	446,01	384,27	368,00	368,00	360,00
Preço Final, São Paulo, R\$/ton	861,21	761,79	653,30	653,30	599,04
Trigo Pão Brasil CIF São Paulo, R\$/ton	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Diferença % Trigo Brasil/Trigo Importado	-30,33	-21,24	-8,16	-8,16	+0,16
FECHAMENTO: 25/02/2011					

Esses dados são as cotações diárias do trigo, mas representam e dão uma ideia de como é mais interessante comprar fora que no Brasil.

Para essas razões e a fim de incentivar os produtores de trigo a continuar, uma ferramenta do tipo derivativo de clima poderia ser interessante. Esforços devem continuar sendo feitos no sentido de uma melhoria da planta, consequentemente, da produtividade, mas um derivativo de clima poderia ser uma garantia para eles de não perder uma produção inteira por causa de condições climáticas não desejadas.

Como mostra o estudo seguinte, as variações em termo de produção para um preço da saca fixada têm um impacto direto no lucro do produtor:

Tabela 10 - Consequências de perdas em termo de volume de produção para o lucro do produtor (HIRAKURI, EMBRAPA, 2010)

	Perdas - 20%	Perdas - 10%	Esperada	Ganho - 5%	Ganho - 10%
Preço so: R\$ 28,00					
Preço da soja (saca)	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Produtividade (kg/ha)	2.184	2.457	2.730	2.867	3.003
Receita total (R\$/ha)	1.019,20	1.146,60	1.274,00	1.337,70	1.401,40
Custo total (R\$/ha)	1.082,54	1.102,12	1.121,71	1.131,50	1.141,29
Custo Oportunidade (R\$/ha)	17,75	34,31	50,87	59,15	67,43
Lucro (R\$/ha)	-63,34	44,48	152,29	206,20	260,11
Preço so: R\$ 25,00					
Preço da soja (saca)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Produtividade (kg/ha)	2.184	2.457	2.730	2.867	3.003
Receita total (R\$/ha)	910,00	1.023,75	1.137,50	1.194,38	1.251,25
Custo total (R\$/ha)	1.069,65	1.087,63	1.105,60	1.114,59	1.123,57
Custo Oportunidade (R\$/ha)	3,55	18,34	33,13	40,52	47,91
Lucro (R\$/ha)	-159,65	-63,88	31,90	79,79	127,68
Preço so: R\$ 22,00					
Preço da soja (saca)	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
Produtividade (kg/ha)	2.184	2.457	2.730	2.867	3.003
Receita total (R\$/ha)	800,80	900,90	1.001,00	1.051,05	1.101,10
Custo total (R\$/ha)	1.056,77	1.073,13	1.089,49	1.097,67	1.105,85
Custo Oportunidade (R\$/ha)	-10,64	2,37	15,38	21,89	28,40
Lucro (R\$/ha)	-255,97	-172,23	-88,49	-46,62	-4,75

Pode-se ver que para algumas situações críticas, com cerca de 20% de perdas, o lucro do produtor fica negativo e este perde dinheiro. A viabilidade econômica da cultura não é mais garantida.

2.1.4 Evolução da demanda

Nos últimos anos e décadas, o consumo de trigo não parou de aumentar. Alimento básico, a demanda não vai provavelmente parar num futuro próximo. Com uma população mundial aumentando continuamente de maneira significativa, e com a expansão econômica de países como a China ou a Índia, essa demanda vai ficar alta e crescente.

2.1.5 Organização da distribuição

A cadeia produtiva do trigo no Brasil tem mais ou menos esta dinâmica:

- Produção de grão
- Moinhos
- Fabricação de pães, massas e biscoitos
- Distribuição

2.1.6 Descrição do processo biológico e físico

2.1.6.1 Importância do trigo

O trigo é uma planta necessária para o homem. Fornecendo cerca de 20% das calorias nos alimentos consumidos pela população, ele possui uma proteína, o glúten, que nenhum outro grão tem e que faz assim que o trigo é um componente indispensável para muitos alimentos. Em geral, consomem-se mais os derivados que o próprio grão. O mais comum que é a farinha branca ou integral é utilizada diretamente para a produção de massas, pão, bolo, carne de trigo etc . O outro mais comum, o trigoilho, permite preparar quibes, torta de quibes, tabule, entre outros.

O seu consumo proporciona um bom funcionamento do aparelho digestivo de homem, prevenindo doenças do colon, apendicite, entre outros.

2.1.6.2 Desenvolvimento da planta

O seu desenvolvimento pode-ser decompor em 5 fases:

- **Plantula:** Primeiramente, germinação da semente e emergência da plantinha na superfície – 5 a 7 dias. Depois, a partir das emergências, dá-se a fase de plântula com o aparecimento das três primeiras folhas verdadeiras – entre 12 e 16 dias
- **Perfilhamento:** Abrem-se as folhas, surgem os perfilhos (7 a 8 unidades) – entre 15 e 17 dias
- **Alongamento:** Primeiro no do colmo, a planta cresce e aparece a folha – entre 15 a 18 dias. No final, dá-se o emborrachamento.
- **Espigamento:** Emergência completa da espiga, floração, frutificação e início de enchimento dos grãos – entre 12 e 16 dias
- **Maturação:** Término de enchimento dos grãos, maturação do grão, folhas e espiga secam – entre 30 e 40 dias.

A fim de obter os melhores resultados, a temperatura, a luz e a água condicionam a adaptação do trigo a várias regiões. Para facilitar o acontecimento de todas essas fases, várias espécies de trigo foram desenvolvidas para poder se adaptar a climas diferentes entre o Rio Grande do Sul, o Paraná e as demais regiões produtoras.

Basicamente, para a fase de emergência, a temperatura do solo deve ser perto dos 15°C com uma umidade em torno de 120 mm ao mês (entre 50mm e 200mm).

Depois, até o perfilhamento, a temperatura ideal se situa entre 8°C e 18°C com uma umidade de 55mm ao mês (entre 30mm e 80mm). Do final do perfilhamento até o espigamento, a temperatura deve ficar entre 8°C e 20°C com uma umidade de 40mm ao mês. E finalmente, do espigamento até a maturação uma temperatura em torno de 18°C com precipitações de 60mm ao mês são ideais.

Para essas razões, uma temperatura relativamente baixa para o Brasil, a produção de trigo se concentra no sul do país. Porém, a variabilidade climática é muito grande e assim a produção tríticola torna-se uma atividade de risco. Os principais problemas climáticos dessa região são

excesso de umidade relativa do ar, em setembro-outubro ocorrência de geadas no espigamento, chuvas na colheita e granizo.

As sementeiras ocorrem em junho para a colheita em outubro.

2.1.6.3 Os solos

Idealmente de textura média, como o argilo, profundo, drenado, fértil em áreas planas ou com pouco declive. Em geral, melhor evitar os solos cascalhentos e áreas sujeitas a encharcamento. Em solos do cerrado deve-se corrigir sua acidez e praticar adubação.

Para seu bom crescimento, o trigo precisa dos elementos minerais como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco. Porém, os mais importantes são nitrogênio e fósforo.

Assim, a partir desses estudos é possível aplicar corretivos de solo a fim de ter as proporções adequadas nesses elementos minerais para garantir o bom crescimento da planta.

Porém, essa tecnologia de preparação não é muito simples e a alta produtividade de uma cultura depende diretamente de seu uso. É difícil estabelecer recomendações gerais, por causa de uma natureza diferente dos solos segundo as regiões, mas alguns cuidados podem ser citados como, por exemplo, a alternância do tipo de implemento e a profundidade de trabalho; a diminuição do número de operações assim que o trânsito sobre áreas cultivadas, o menor revolvimento e quebra de torrões, a manutenção da umidade e a permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do terreno.

Uma análise do solo é muito importante, pois devido aos custos dos fertilizantes e da porcentagem que isso representa no custo de produção do trigo, é fundamental que o produtor tenha uma estimativa confiável das quantidades necessárias, a fim de não gastar mais do que o necessário.

2.1.6.4 Irrigação

A exigência em água pelo cultivo do trigo ao longo do ciclo depende de seu potencial de produção. Em média, produzem-se 8 kg de grãos, por milímetro de lâmina de água aplicado. Uma produtividade de 4.800 Kg/ha de grãos requererá ao longo do ciclo, uma lâmina de 600mm. de água.

Os métodos de irrigação sugeridos para pequenas e médias áreas de cultivo são:

- Irrigação por aspersão: com conjunto motobomba, tubos e aspersores ou com mangueiras e aspersores
- Irrigação por superfície: com sulco em contorno, paralelos às linhas (fileiras) de trigo; tubos janelados levam a água aos sulcos.

2.1.6.5 Pragas

Broca-do-colo ou lagarta-elasmo - *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) Lepidoptera, Phycitidae.

Ocorre muito em trigo sequeiro; a praga pode atacar desde a emergência até perfilhamento. A lagarta perfura as hastes do trigo. Adulto é mariposa de coloração parda com manchas cizas; forma jovem é lagarta cinza-esverdeada ou arroxeadada com cabeça marrom ou castanha, que vive por 20 dias. O dano causado é chamado "coração-morto", (folha do ápice da planta seca e facilmente destaca-se).

É possível controlar imediatamente após aparecimento do inseto, pulverizando com bico em leque visando à base da planta, preventivamente no sulco pode-se aplicar inseticidas granulados.

Lagartas desfolhadoras - alimentam-se das folhas, iniciam o ataque em manchas na lavoura (notadamente a acamada), podendo consumir até 100 m² de área foliar. O ataque é feito à noite, comumente, e durante os dias as lagartas escondem-se sob folhas secas (na base da planta), em torrões.

O controle é feito por pulverizações com inseticidas.

Pulgão verde: Ataca o trigo desde a fase do perfilhamento até a fase de enchimento do grão; além de espoliar a planta sugando a seiva da folha de brotos, pode transmitir a doença por vírus nanismo amarelo da cevada. Inseto pequeno, verde, 2-3mm. de comprimento conhecido como piolho-de-planta. O ataque produz sintomas de manchas pretas no local das picadas seguido de amarelecimento da folha.

Pulgão-da-raiz: Tem cor cinza a pardo-escuro. Os sintomas de ataque são amarelecimento generalizado da planta e redução do seu crescimento.

Essas pragas podem ser controladas pela pulverização da parte aérea da planta com produtos químicos – inseticidas. Pulgões da raiz podem ser controlados com produtos de ação sistêmica e granulados para o solo. Nível para controle do pulgão verde quando a infestação atingir 10% das plantas ou mais que 10 pulgões por espiga.

2.1.6.6 Doenças

Helmintosporiose (mancha-foliar do trigo) - tem como agente o fungo *Bipolaris Schoem* e *Cochliobolus sativus* e Drechs.ex.Dast.

Incide em qualquer fase do ciclo do trigo estabelecendo-se nas folhas, colmo, espigas, grãos e sistema radicular. Manchas alongadas marrom-escuras aparecem nas folhas, expandem-se e unem-se podendo tomar toda a lâmina foliar. No colmo e espiga lesões marrom-escuras e nos grãos mancha escura próxima ao embrião (ponta-preta) e nas raízes mancha e podridão, são sintomas.

A produção do trigo pode ser reduzida em 50% por ataque da helmintosporiose.

Pode ser controlado por cultivos resistentes à doença, tratamento de sementes com fungicidas, rotação de culturas e pulverizações da parte aérea da planta com fungicidas à base de Tebuconazole, Procloraz, Propiconazole, são indicações para controle.

Ferrugens

Basicamente, dois tipos de ferrugens existem:

Da folha - Doença causada pelo fungo *Puccinia recondita* Rob.Ex.Desm.f.sp.tritici. Ataca folhas, principalmente; pustulas de coloração amarelo-alaranjada, predominantemente na face superior da folha são sintomas que podem alcançar o caule e as espigas. Prejuízos podem chegar a 50%. Temperatura entre 15 a 22°C favorecem progresso da doença. Controle com variedades à doenças; pulverizações com caldas fungicidas é medida necessária se a ferrugem alcançar as espigas.

Do colmo - Ferrugem-negra causada pelo fungo *Puccinia graminis* Pers.f.sp.tritici Eriks e henn. Ataca colmo, mas pode apresentar-se nas bainhas das folhas e ocasionalmente nas espigas. Pústulas ovais ou alongadas, de coloração marrom-avermelhada e escura, são sintomas da doença.

O controle para essas duas formas de ferrugens é aplicar calda fungicida quando primeiras pústulas aparecem entre o final da floração e início da formação de grãos.

2.1.6.7 Colheita

Após 110 a 120 dias do plantio a colheita pode ser feita. Quando toda a planta tiver coloração amarelada típica de palhas, a espiga começar a dobrar-se e os grãos tornarem-se duros e resistentes à unha, o trigo deve ser colhido. A colheita manual deve ser feita em faixas pequenas cortando-se a planta na sua base - com cutelo ou faca; feixes são reunidos em feixes maiores e levados para debulha.

Na cultura do trigo, essa fase é de grande importância para garantir a produtividade e a qualidade final dos grãos. No caso de fortes chuvas na época de colheita isso se traduz geralmente em perdas significativas na qualidade do grão, devido à umidade. Ao redor de 20% de umidade, as colhedoras devem ser preparadas cuidadosamente.

Tabela 11 - Calendário agrícola do trigo (UFPR)

	CALENDÁRIO AGRÍCOLA DO TRIGO											
		PLANTIO					COLHEITA					
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Hemisfério Norte												
TRIGO DE INVERNO												
Índia												
China												
Estados Unidos												
Rússia												
França												
Reino Unido												
Alemanha												
TRIGO DE PRIMAVERA												
China												
Estados Unidos												
Rússia												
Canadá												
Hemisfério Sul												
TRIGO DE INVERNO												
Austrália												
Brasil - Paraná												
Brasil - Rio Grande do Sul												
Argentina												

2.1.6.8 Secagem

Depois da colheita, a secagem tem um papel muito importante na qualidade final do grão. Assim, todo trigo colhido com um teor de umidade acima de 16% deve ser secado, de forma lenta, a fim de não impor uma mudança de meio brutal que poderia alterar significativamente o trigo. Em geral, a secagem é realizada de maneira artificial graças à movimentação de grandes massas de ar aquecidas até atingirem temperaturas na faixa de 40 – 60°C.

2.1.6.9 Armazenamento

Uma vez limpo e seco, muitos aspectos devem ser cuidados para não favorecer a aparição de pragas que atacam os grãos. Como visto antes, essas doenças podem ter um impacto no volume de comercialização, bem como na saúde, pois alguns fungos são nocivos ao homem.

Medidas preventivas:

- Armazenamento de trigo com teor de umidade Máxima de 13%
- Higienização e limpeza de silos, depósitos e equipamentos
- Eliminação de focos de infestação mediante a retirada e a queima de resíduos do armazenamento anterior
- Pulverização das instalações que receberão os grãos.

Tratamento curativo:

Fazer o expurgo dos grãos, caso apresentem infestação.

2.2 Modelo Econométrico

Após haver explicado como os diferentes fatores podem afetar a produção de trigo. Há que se testar agora a teoria. Este estudo de econometria tem por objetivo mostrar que o clima e, principalmente, algumas temperaturas que têm grande influência na produção de trigo.

2.2.1 Definição das variáveis

Usam-se as medidas seguintes: medidas são tomadas para cada fazenda i no dia t . Foi decidido considerar o rendimento por espiga em vez de simplesmente o volume total, variável

PRODij. Essa decisão permite deixar de lado a natural tendência de crescimento durante os últimos anos e algumas especificidades de cada cultura, como o número de espiga. A fim de obter resultados confiáveis, precisa-se das produções diárias de trigo. É necessário encontrar variáveis podendo interpretar cada categoria de fatores que foram definidos: custos de produção, demanda, clima e coleta.

2.2.1.1 Custos

Como explicado antes, os custos são realmente um parâmetro chave na produção de trigo brasileiro. Considera-se o preço da gasolina **GASOij** que representa um custo para o produtor, mas com pouca consequência, pois a porcentagem associada ao consumo de gasolina na produção é muito pequena.

2.2.1.2 Demanda

A demanda varia com os preços, mas não se pode tomar o preço como uma variável, pois o volume de produção é o principal fator determinante.

2.2.1.3 O clima

Dados de clima são requeridos numa base diária e para cada fazenda. Várias estações existem no Brasil, monitoradas e instaladas pelo **INMET – Instituto Nacional de Meteorologia**, e pela **Embrapa Trigo** o que rende possível, teoricamente, o monitoramento do clima em todas

as fazendas do país com uma boa precisão. Dependendo da altitude e da distância com a estação, podem-se ajustar os dados:

- Para medir as precipitações, pode-se usar um indicador diário de precipitação **VChij**
- Da mesma forma, a média da força do vento **FVeij**
- Pressão média diária **PMDij**
- Luminosidade: 4 variáveis representando a exposição **Norteij**, **Sulij**, **Lesteij**, **Oesteij**
- Eventos críticos de clima (tempestade, chuva violenta...): uma variável **CATij**

- Definir um indicador para temperatura não é tão simples como os outros, porque se precisa mais do que a média diária, porque depende de cada parte do crescimento. Uma temperatura mais baixa no começo do crescimento terá um papel importante, enquanto seria melhor ter temperaturas mais altas para fases de alongamento. Precisa-se checar quando a temperatura é ótima para o crescimento do trigo, ou seja, no mínimo entre 5°C e 12°C durante a noite no Máximo entre 14°C e 24°C durante o dia.

Tmaxij: Representando a temperatura máxima durante o dia

Tminij: representando a temperatura mínima durante a noite

Número de graus quando a temperatura diária mínima é abaixo de 5°C

$$\mathbf{MDDij = Max\{12^{\circ}\text{C}-Tmin; 0\}} \quad (4)$$

Número de graus quando a temperatura média diária observada é igual ou abaixo de 12°C, mas acima de 5°C

$$\mathbf{Prod\ MDDij=\{MDDij\ if\ 0<MDD<7; 0\ sen\ \tilde{a}\}} \quad (5)$$

Número de graus quando a temperatura média diária é acima de 14°C

$$\mathbf{SDDij = Max\{14^{\circ}\text{C}-Tmax;0\}} \quad (6)$$

Número de graus quando a temperatura esta acima de 14°C, mas fica abaixo de 24°C

$$\mathbf{Prod\ SDDij=\{SDDij\ if\ -10<MDD<0; 0\ sen\ \tilde{a}\}} \quad (7)$$

2.2.1.4 Organização da coleta do trigo

Definam-se variáveis simples suplementarias a fim de caracterizar as fazendas:

O número de espigas por metro quadrado: **DENS_{ij}**

O número de empregados trabalhando durante o tempo de colheita do trigo: **EMPI_{ij}**

A idade da fazenda: **IDA_{ij}**

2.2.1.5 O modelo

$$\begin{aligned} \text{PROD}_{ij} = & a_0 + b_1 \cdot \text{FUEL}_{ij} + d_1 \cdot \text{VCh}_{ij} + d_2 \cdot \text{FVe}_{ij} + d_3 \cdot \text{PMD}_{ij} + d_4 \cdot \text{Norte}_{ij} + d_5 \cdot \text{Sul}_{ij} + d_6 \cdot \text{Leste}_{ij} \\ & + d_7 \cdot \text{Oeste}_{ij} + d_8 \cdot \text{Cat}_{ij} + d_9 \cdot \text{TMAX}_{ij} + d_{10} \cdot \text{TMIN}_{ij} + d_{11} \cdot \text{MDD}_{ij} + d_{12} \cdot \text{ProdMDD}_{ij} + d_{13} \cdot \text{SDD} \\ & \text{ij} + d_{15} \cdot \text{ProdSDD}_{ij} + e_1 \cdot \text{DENS}_{ij} + e_2 \cdot \text{EMPI}_{ij} + e_3 \cdot \text{IDA}_{ij} \end{aligned} \quad (8)$$

2.2.2 Coletas de dados

Com certeza, essa coleta é uma das fases mais delicadas desse trabalho. Da precisão e da relevância das medidas dependem as validações das simulações e dos modelos.

Tive muitas dificuldades para achar no internet dados precisos e confiáveis de temperaturas no Brasil, assim que outros parâmetros como a quantidade de chuva, força do vento. Felizmente, graças a uma das maiores bases de clima no mundo, que fica na Utah State University, e com os dados disponíveis no site da Embrapa, foi possível obter um histórico em boa parte completo desde 1990 até 2009.

2.2.3 Resultados

2.2.3.1 Intuições a partir dos dados

Sem fazer grandes análises, já pode se observar tendências bem diferentes entre uma safra que obteve um rendimento de produção recorde no Rio Grande do Sul, em 2008, e uma safra média, em 2001 neste caso.

2.2.3.1.1 Efeito da temperatura

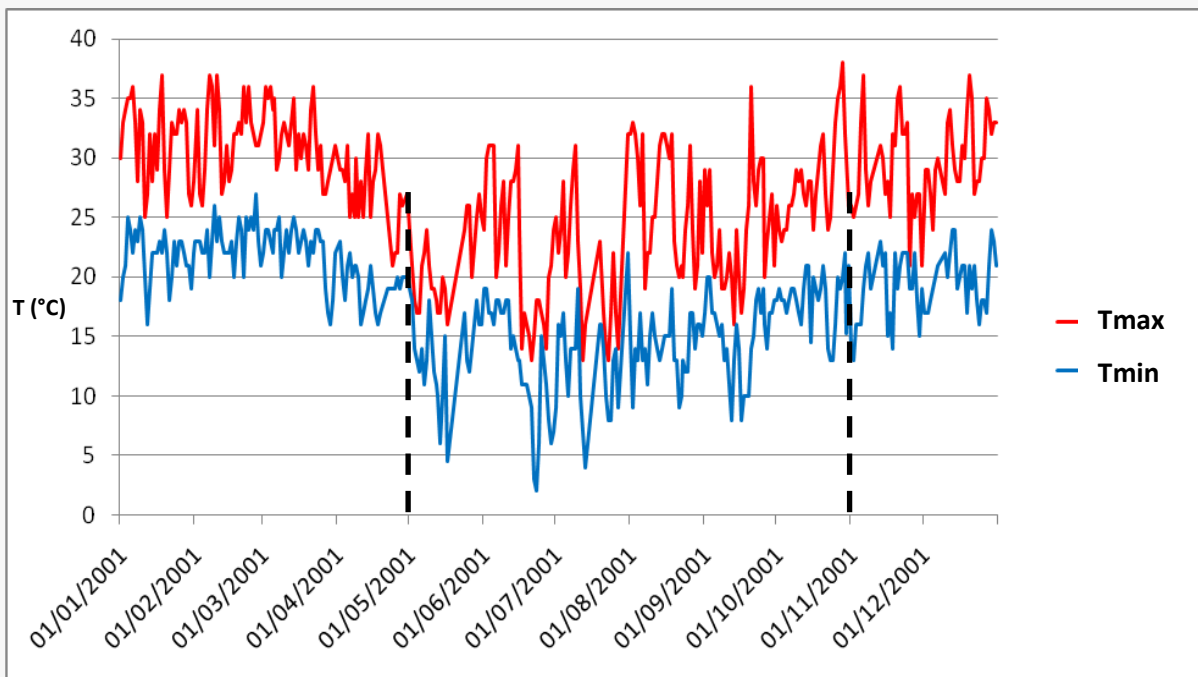


Figura 22 - Curvas das temperaturas máximas e mínimas observadas em Passo Fundo - RS durante o ano 2001 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

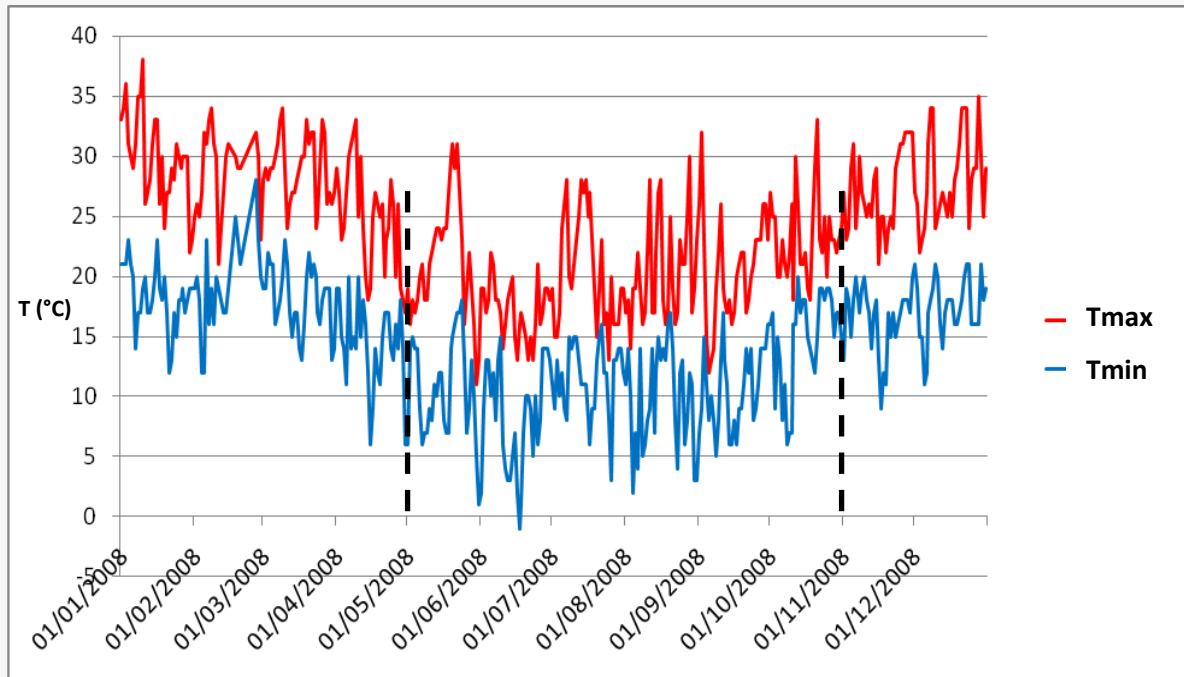
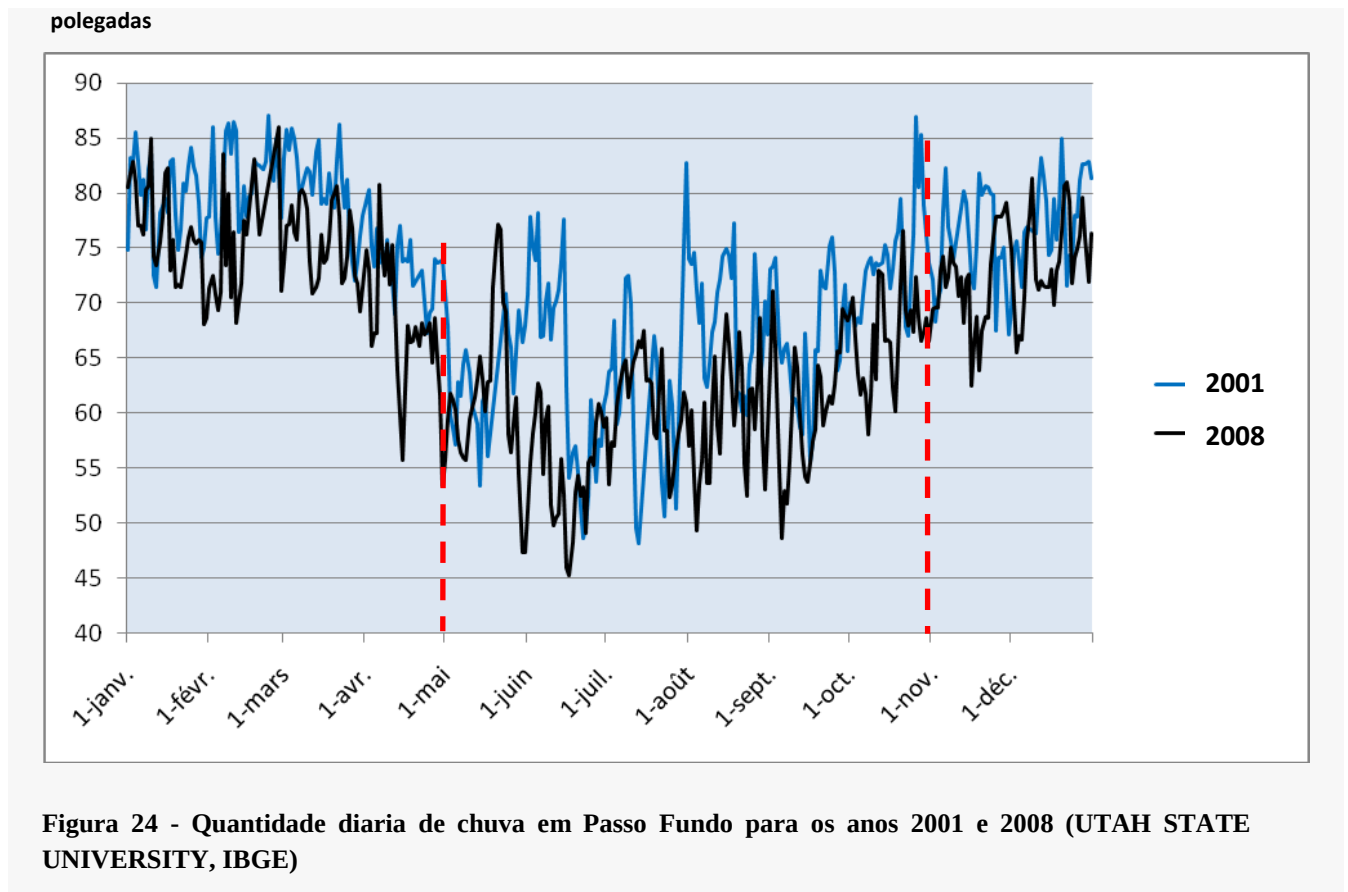


Figura 23 - Curvas das temperaturas máximas e mínimas observadas em Passo Fundo - RS, durante o ano 2008 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Claramente pode se observar que de maio até outubro, que é o período que nos interessa, o comportamento é diferente entre as duas safras. Para o ano 2001, as temperaturas máximas e mínimas são acima das do ano 2008.

2.2.3.1.2 Efeito da chuva



Pode-se observar que a quantidade de chuva entre esses 2 anos é bem diferente, principalmente, no período estudado. Intuitivamente, isso pode levar a algumas diferenças em termo de produtividade, principalmente, porque nosso estudo está focado na produção de um bem agrícola e que depende fortemente em geral da irrigação

2.2.3.1.3 Efeito do vento

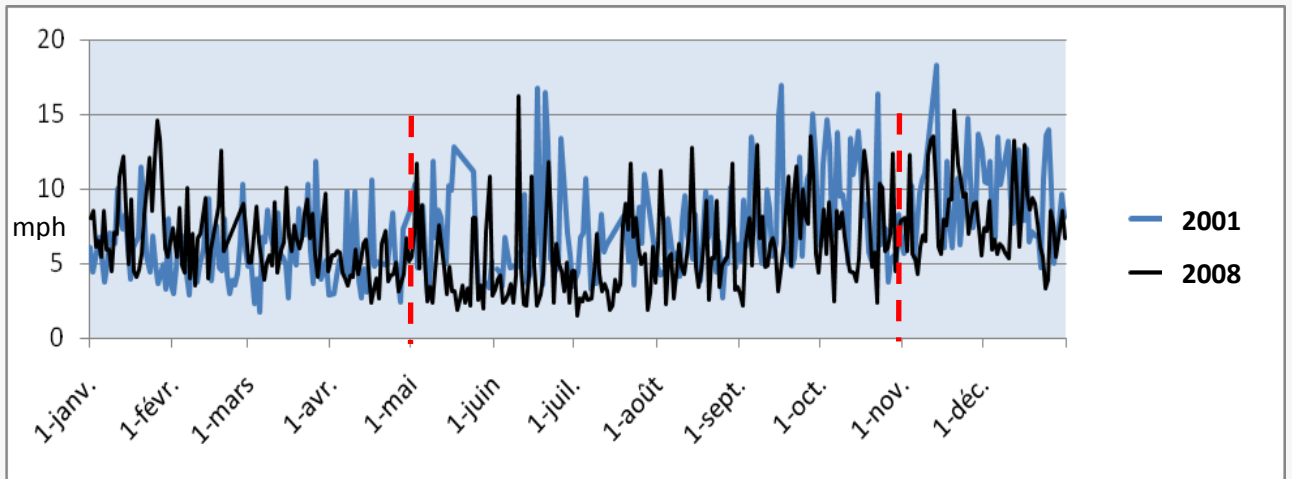


Figura 25 - Velocidade maxm do vento observada diariamente em Passo Fundo - RS durante os anos 2001 e 2008 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Da mesma maneira que com a quantidade de chuva ou as temperaturas mínimas e máximas, uma diferença pode ser observada entre dois anos em relação à velocidade máxima do vento. No caso de um vento forte demais, perdas na plantação podem ocorrer. Porém, a diferença aqui é menos significativa que para as outras variáveis.

2.2.3.2 Implantação para a região de Porto Alegre

A fim de quantificar o impacto que pode ter essas variáveis sobre a produção de trigo, fez-se uma regressão linear com temperatura mínima, temperatura máxima, quantidade de chuva e força máxima do vento.

Tabela 12 - Regressão linear da temperatura máxima, mínima, precipitações e vento (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,844540392
R Square	0,713248474
Adjusted R Square	0,330913106
Standard Error	0,391940776
Observations	8

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regressio	4	1,146297285	0,286574321	1,865504825	0,317835385
Residual	3	0,460852715	0,153617572		
Total	7	1,60715			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 90.0%</i>	<i>Upper 90.0%</i>
Constante	3,583166819	20,68114201	0,173258	0,873479	-62,23345716	69,3997908	-45,08707658	52,25341022
T Max	-0,045112757	0,743740508	-0,06066	0,955447	-2,412026987	2,321801474	-1,795404472	1,705178959
T Min	-0,170513236	0,54497129	-0,31288	0,774858	-1,904855104	1,563828633	-1,453028743	1,112002271
Precipitações	-0,048723321	0,65540522	-0,07434	0,945419	-2,134515241	2,037068599	-1,59113	1,493683358
Vento	0,818586789	0,451371472	1,813555	0,167395	-0,617878685	2,255052262	-0,243654329	1,880827907

Como resultado dessa regressão linear, vários parâmetros obtidos são interessantes.

Primeiramente, o adjusted R-Square que representa o quanto as variáveis utilizadas na regressão explicam os valores de produção. Neste caso obtém-se 33%, que é relativamente baixo. Mas isso pode ser explicado de algumas maneiras possíveis. A maior causa é a falta de dados. Mesmo com o encontro de um número importante de dados históricos, não foi sempre possível usá-los por causa de uma falta que não permitia obter médias pertinentes. Outro fator, a relativa precisão das estações meteorológicas, principalmente, para os dados antigos, pode diminuir um pouco a precisão da regressão.

Outro parâmetro importante, a variância do erro, que mede a precisão do modelo. O valor obtido pode ser considerado bom.

E finalmente, o p-value que corresponde à pertinência do modelo. Quanto mais perto de 0, mais as variáveis afetam de maneira significativa o resultado. Em nosso caso o valor é médio. Mas esse valor pode ser explicado com as mesmas razões que para o Adjusted R-Square.

2.2.4 Melhorar os resultados

Este estudo mostrou que a produção de trigo era efetivamente afetada pelas variáveis de clima como a temperatura, a chuva, ou o vento.

3. Estruturação e precificação de um produto derivativo indexado à temperatura, aplicado à produção do trigo

3.1 Estruturação

3.1.1 A partir da parte precedente

Para a terceira parte desse relatório, conservam-se poucos fatores, critérios ou detalhes a fim de estruturar nosso produto. Primeiramente, precisa-se considerar os dois intervalos seguintes: $[5^{\circ}\text{C}; 15^{\circ}]$ e $[16^{\circ}\text{C}; 26^{\circ}\text{C}]$ que depois algumas experimentações mostraram os fatores mais críticos em relação ao impacto direto no nível e na qualidade de produção. Fato importante também, a temperatura média diária não pode estar abaixo de 10°C durante vários dias consecutivos. Isso teria por efeito direto uma degradação da qualidade do trigo.

3.1.2 Esboço

A partir das informações e dados obtidos, apresentam-se dois tipos possíveis de derivativos de clima. Tentaremos apresentá-los e propor uma metodologia de precificação adequada.

Começa-se com o primeiro produto. Vimos no item 1.4 que o collar era uma combinação de uma opção venda put e uma opção de compra call, e particularmente, que o caps e o floor permitem ao investidor – o comprador do collar- de se proteger do subjacente num intervalo definido. Aqui, olhando para a temperatura diária máxima média, por exemplo, tem-se que ficar no intervalo $[16^{\circ}\text{C}; 26^{\circ}\text{C}]$. Quer-se nessa situação, usar um collar com um cap fixado a 26°C e o floor a 16°C . O mesmo tipo de instrumento financeiro pode ser usado sobre as

temperaturas diárias mínimas, aplicado no intervalo $[5^{\circ}\text{C}; 15^{\circ}\text{C}]$. Dois collars sobre $T_{\min}$ e $T_{\max}$ respectivamente tem que ser comprado. Para o segundo derivativo, estar-se pensando usar uma opção cujo payoff é positivo, quando o $\text{Min } T^{\circ}\text{C}$ é positivo abaixo de 12°C mais que três dias seguintes.

Nota: Para ambos derivativos, será verificada a pertinência deles graças aos conselhos fornecidos por alguns especialistas. Porém, nessa parte serão estudadas as técnicas de precificação tradicionais.

3.1.3 Nosso produto

Apresenta-se aqui um esboço do contrato que poderia ser estabelecido teoricamente entre duas entidades.

3.1.3.1 Produto 1

Tipo: 4 meses – Opção americana

Regiões alvo: Vários grupos de regiões podem ser constituídos:

- Sul: Rio Grande do Sul, Parana, Santa Catarina
- Litoral: Rio de Janeiro, Espirito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte
- Região da grande São Paulo: São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais
- Centro: Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Tocantins, Piauí, Maranhão
- Norte: Amazonas, Acre, Rondônia, Para, Amapá, Roraima

Subjacente: Temperatura diária mínima

Período alvo:

Região Sul : de 1 de junho até 30 de setembro

Região da grande São Paulo: de 15 de maio até 15 de setembro

Período de contratação: O mês de fevereiro e março, todo ano

Strike: 14°C (x3 em seguida)

Evento provocando o exercício: Min T°C abaixo de 12°C durante 3 dias seguintes.

Tamanho – Tick size:

Região Sul: Número de toneladas x Produtividade média do produtor x Preço da tonelada de trigo

Região da grande São Paulo: Número de toneladas x Produtividade média do produtor x Preço da tonelada de trigo

Período de exercício: Qualquer data durante a vida da opção com até os três últimos dias

Payoff Simplificado = $\text{MAX}(\text{data de vencimento} - \text{data na vida da opção}, 0) \times \text{Tick}$

Nota: Geralmente, a opção deve ter um payoff de : $\text{Max}(\text{temperatura à data } t - \text{Strike}, 0) \times \text{Tick}$. Mas esse tipo de payoff não parece satisfatório e vantajoso para o produtor, pois não permite de proteger sua posição. Porém, se pega o numero de dias faltando desde o dia que a produção foi comprometida até o vencimento.

3.3.1.2 Produto 2

Tipo: 2 collars de 4 opções (2 puts e 2 calls)

Regiões alvos:

- Sul: Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina
- A região do grande São Paulo: São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais

Subjacente: Temperatura mínima diária T°C e temperatura Máxima diária T°C

Período alvo: Depende da região – os mesmos períodos que para o produto 1.

Período de contratação: O mês de fevereiro e março, todo ano.

Strikes: 5°C, 15°C, 16°C, 26°C

Evento provocando o exercício: Min T°C ou Max T°C fora dos intervalos definidos

Tick Size diário:

Região Sul: Número de toneladas x Produtividade diária média do produtor x Preço da tonelada de trigo

Região da grande São Paulo: Número de toneladas x Produtividade diária média do produtor x Preço da tonelada de trigo

Período de exercício: Melhor no vencimento

Payoff simplificado= Número de dias onde a opção está ativada x Tick

Pode ser feito mesmo tipo de observação que para o produto 1. O produtor seria protegido melhor se pagasse o número de dias em que a produção não pode ser feita multiplicado pelo número correspondente de tick – equivalente ao custo de um dia de produção.

O objetivo agora é poder precificar esses produtos ou pelo menos de fornecer uma metodologia utilizada para precificar derivativos mais comuns como são as opções vanillas. Mas antes de fazer isso, é preciso ver o que existe na literatura.

3.2 Precificar um derivativo de clima na literatura

3.2.1 Dificuldades devidas ao tipo de subjacente

A correlação entre os índices de clima e os demais, financeiros, estabelecidos nas instituições é insignificante. Assim, a habilidade dos financeiros para precificar instrumentos vinculados a esse tipo de indexo é limitado, pelo menos até hoje. Os tradicionais métodos de precificação baseados na proteção relacionados a um subjacente não podem fornecer método prático para precificar um derivativo de clima, devido ao fato de que o subjacente não pode ser operado. De fato, contrariamente a uma moeda ou uma commodity, ninguém pode influenciar o valor da temperatura, ou da quantidade de chuva que vai cair daqui alguns dias. Os modelos de precificação atuais não são por enquanto adaptado a esse tipo de subjacente. Essa falta de ferramenta confiável para um subjacente totalmente independente do nível da oferta e demanda complica a expansão do mercado dos derivativos de clima. E o objetivo desse trabalho é justamente de propor um método garantido um preço justo dos derivativos de clima, que poderia teoricamente fornecer um meio de controle aos diferentes atores de mercado. Também, alguns problemas aparecem com os métodos estatísticos por causa de índices não estacionários. Os contratos de chuva, por exemplo, poderiam ser muito interessantes, mas eles representam uma faixa restrita do mercado por causa de suas complexidades.

3.2.2 História da precificação

A emergência de novos produtos financeiros levou a questão da validade dos métodos atuais de precificação que devem ser baseados em argumentos de proteção, como o Black & Scholes (1973), ou seja, na confiança na lei dos grandes números, como Borch (1968). Os derivativos de clima, como os seguros ou Bonds de catástrofe são operados em mercados incompletos. Consequentemente, problemas apareceram com os tradicionais conceitos de não arbitragem e de precificação dos métodos utilizados em finança. A precificação de derivativos em mercado incompleto foi estudada por Hofmann, Platen & Schweizer (1992) and Heath, Platen & Schweizer (2001), conduzindo aos conceitos de precificação baseados no cálculo do valor esperado ou em outros termos da expectativa de preço futuro. Várias tentativas foram

realizadas para precificar os derivativos de clima a partir de instrumentos financeiros tradicionais ou de métodos considerando a não arbitragem. Porém, os resultados obtidos não foram os esperados, devido ao fato de não poder operar o subjacente e, assim, não saber determinar qual preço seria justo. Mas, Cao & Wei (2001) concluíram que qualquer pedido eventual pode ser avaliado descontando-se da taxa de risco-livre, o payoff.

A metodologia de benchmark sugerida por Platen, em 2002, generaliza vários métodos de precificação e usa o conceito de portfólio de crescimento ótimo. (GOP – Growth Optimal Portfolio): Se o preço de precificação buscado é martingale, então o processo de preço é chamado de “fair” (justo). A metodologia de benchmark cobre também modelos onde um equivalente martingale de risco neutro não existe. West e Platen, em 2004, mostraram que o preço generalizado atuário justo para um derivativo é atingido quando o payoff é independente do GOP, ou seja, mesma conclusão que Cao & Wei (2001). O GOP pode ser interpretado como o equivalente de ausência de risco de clima Premium, o que significa que o preço para o risco de clima é zero. Isso é consistente com a observação de que o clima é geográfica e temporariamente diversificável.

3.2.3 Métodos de precificação

Tem-se interesse na precificação das opções, como é a forma que o nosso derivativo vai ter. Seguindo é um comparativo de alguns modelos e metodologias, mas sem ser exaustivas. Só são explicados os modelos usados nossas simulações.

3.2.3.1 Precificação de opção pelo método de Merton, Black & Scholes

O conceito da equação de Black & Scholes é baseado no fato de uma proteção em contínuo e sem oportunidades de arbitragem. Zervos e Jewson consideram o problema de precificação de um derivativo de clima baseado no índice de temperatura linear. Antecipadamente ao desenvolvimento de um mercado líquido de swap, eles tentam resolver o problema da

precificação das opções indexadas ao clima utilizando swaps de clima como instrumentos de proteção. Eles fornecem uma fórmula para opções de clima sem oportunidades de arbitragem. O resultado implica em uma modificação na fórmula de Black & Scholes que agora é adaptado para os derivativos de clima.

$$dS_t = \mu_t dt + \sigma_t dW_t, \quad S_0 = s \in \mathbb{R}.$$

Obtém o preço de uma call opção com os parâmetros de Black & Scholes:

S= valor do subjacente – aqui a temperatura T°C

K= Strike

T= Vencimento em anos

t= tempo considerado (geralmente 0)

C(S,t)= preço da call opção na data t

$$C(S,t) = SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2) \quad (10)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad (11)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}. \quad (12)$$

Onde

MAS, esse modelo não funciona para nós pelas várias razões aqui apresentadas antess

O mercado é incompleto e ilíquido

A temperatura segue um processo de média reversível, não levada em conta no modelo de Black & Scholes.

A temperatura não é um subjacente operável.

Dessa forma, não poderia ser usado tal método.

3.2.3.2 Burn analysis

O que é Burn analysis ?

A indústria de seguro usa um método chamado de Burn analysis que é útil no Mercado do clima. Burn analysis pergunta “O que nós teríamos pago se tivéssemos vendido uma opção put todo ano durante os últimos 50 anos?”. Há 6 etapas nesse processo de burn analysis. Primeiramente, tem-se que recolher todos os dados históricos de clima, convertê-los em degree days (dia aquiescente [HDD] ou dia refrescante [CDD]) e fazer algumas correções. Então, para todo ano dos 50 últimos passados, tem-se que determinar quanto uma opção teria rendido, achar a média desses payoff e retirar da data de pagamento.

As partes mais complicadas nesse processo são a primeira e a terceira. Coletar os dados pode ser delicado. Mesmo que em sites na internet encontrem-se dados históricos nos Estados Unidos, isso é mais complicado para regiões como a Europa ou a América do Sul. E mesmo que dados estejam disponíveis, alguns vão faltar ou vão estar incorretos. Os dados devem ser “confirmados” antes de serem usados.

Alguns pontos obscuros nesse método

O que é o strike de um swap de custo zero? Usando o Burn Analysis, a resposta depende da hipótese do pagamento Máximo possível. Isso pode parecer contra-intuitivo, no sentido que poderia ser esperado que o strike de um swap de custo zero fosse independente do valor Máximo pagável. Por exemplo, considera-se um swap long em HDD em Chicago. O período é de 1 de novembro 1999 até 31 de março 2000. Assume-se que tem \$10 000 de pagamento por HDD e que o pagamento Máximo é de \$10 milhões. Considerando os 10 últimos anos de dados (1989 – 1998), sem ajustar ou criar de tendência para os anos faltando, o nível de HDD médio é de 5018,75. Assim, um swap com um strike de 5018,75 seria de fato um swap de custo zero. De outro lado, assume-se que o valor Máximo que pode pagar o swap é só \$1.7 milhão. Neste caso, o burn analysis dá um resultado totalmente diferente. Um swap com um strike de 5018,75 teria um pagamento médio de menos \$202 000.

3.2.2.3 Modelos baseados na temperatura

Tais modelos têm as etapas seguintes:

1. Coletar os dados históricos de clima
2. Fazer algumas correções
3. Criar um modelo estatístico de clima
4. Simular possíveis cenários futuros de clima
5. Achar a média dos valores de pagamento
6. Descontar da data de pagamento

A diferença fundamental entre este método e a burn analysis é que esse está fornecendo modelos para o clima, mas não para a temperatura/degree days. A simulação feita no passo 4 pode ser otimizada usando um algoritmo de Monte Carlo. Tais algoritmos criam números aleatórios. Esses números aleatórios são depois utilizados a fim de simular o comportamento do fenômeno que está sendo modelizado. Explicaremos em detalhe esse método de Monte Carlo.

3.2.2.4 Modelos baseados nas simulações de Monte Carlo

Monte Carlo é um método informático que permite criar números aleatórios a fim de inventar e construir estatisticamente cenários de clima. Tais simulações oferecem uma maneira fácil e flexível de precificar diversas estruturas de derivativos de clima. Tecnicamente, a simulação de Monte Carlo é uma maneira de calcular numericamente o valor esperado $E[g(X(t))]$, onde X é uma solução a alguns SDE e g uma função. A aproximação é baseada em

$$E[g(X(t))] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(\bar{X}(t, \omega_i)). \quad (12)$$

Onde $\overline{X}$ é uma aproximação de X , que tem que ser usado se a solução exata X não pode ser calculada. A ideia é simular muitas trajetórias do processo e então aproximar o valor esperado pela média aritmética. Quando se simula as trajetórias de temperaturas para um período de tempo dado, pode-se iniciar a simulação hoje e usar os dados observados hoje como valores iniciais, ou seja, pode-se iniciar a simulação numa futura data perto do primeiro dia do período que nos interessa, com as médias de temperaturas esperadas nesse dia como valores iniciais.

3.3 Modelagem da temperatura

3.3.1 Correlação e não previsível

“A temperatura é um fenômeno sazonal, ela apresenta uma correlação sobre vários dias, a temperatura é estacionária em primeira aproximação.” Garcia. “Quando se especifica um derivativo de seguro, a precisão do modelo de precificação depende criticamente da natureza do processo para a segurança do subjacente ou, nesse caso, da variável de estado associada ao subjacente temperatura. Para dados diários, a temperatura varia de uma forma que é relativamente bem compreendida” (Cao e Wei; Neiken; Turvey; Alaton; Djehiche e Stillberger; West; Yoo).



Figura 26 - Volume de produção de trigo por ano (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

3.3.2 Mean reversion

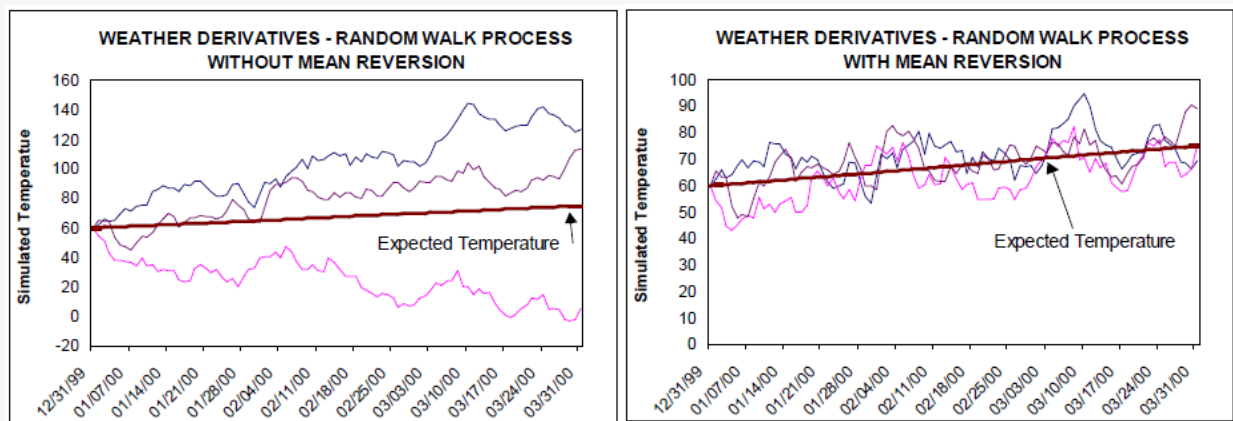


Figura 27 - Importância da mean reversion na modelagem da temperatura (GARMAN et al., 2000)

Figura 40: Importância da mean reversion na modelagem da temperatura

Fonte: "Weather Derivatives: Instruments and Pricing issues" Mark Garman, Carlos Blanco e Robert Erickson

Mean reversion é a tendência para um processo estocástico de ficar próximo, ou de voltar a uma média de longo prazo. Sabe-se também que a temperatura não pode, por exemplo, subir todos os dias num período grande. Isso significa que nosso modelo não deve permitir à temperatura se desviar muito de um valor médio mais que num curto prazo. Em outras palavras, o processo estocástico descrevendo o comportamento da temperatura deve respeitar a propriedade de mean reverting.

3.3.3 Tendências e sazonalidades

Isso é uma tendência que pode observada. Cuidado: A tendência não é exatamente a equação escrita na figura. Essa equação inclui sazonalidades, volatilidade e sazonalidade própria da tendência.

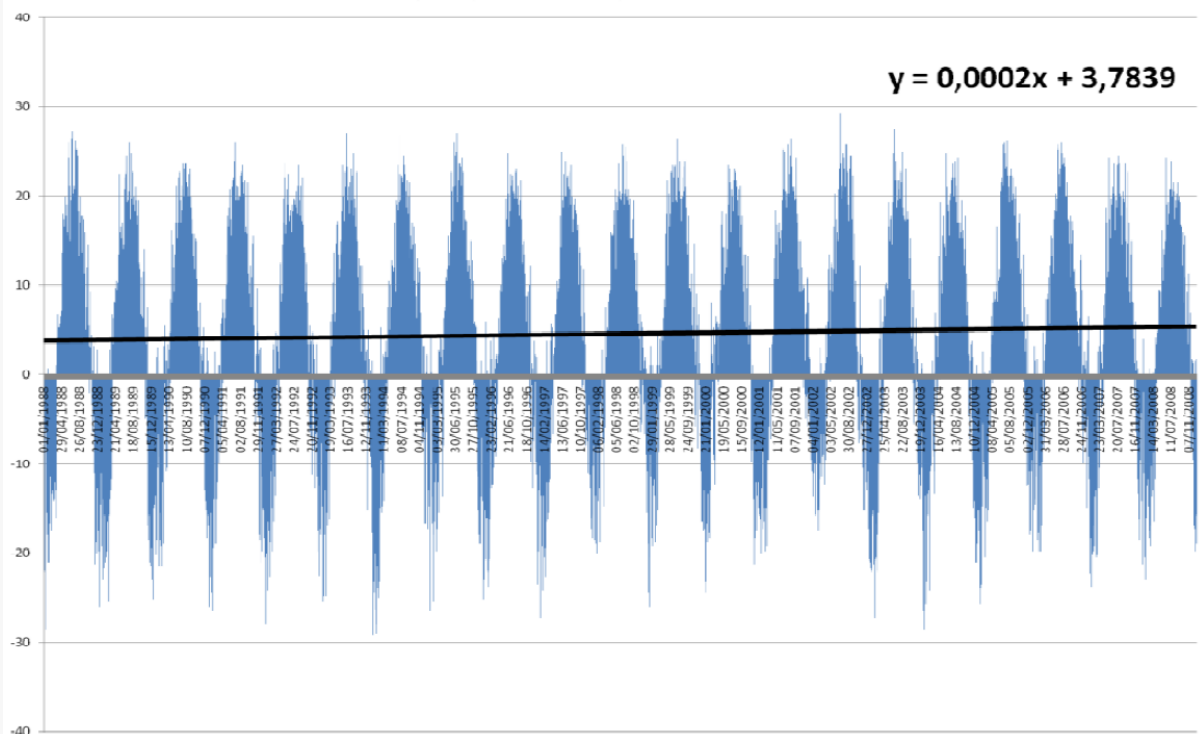


Figura 28 - Regressão linear da temperatura (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

O objetivo é de criar um modelo de temperatura que leva em conta a tendência/sazonalidade assim que a volatilidade de acordo com modelos que vão-se ver, e não considerar dados anormais e obter uma curva suave como mostrado aqui.

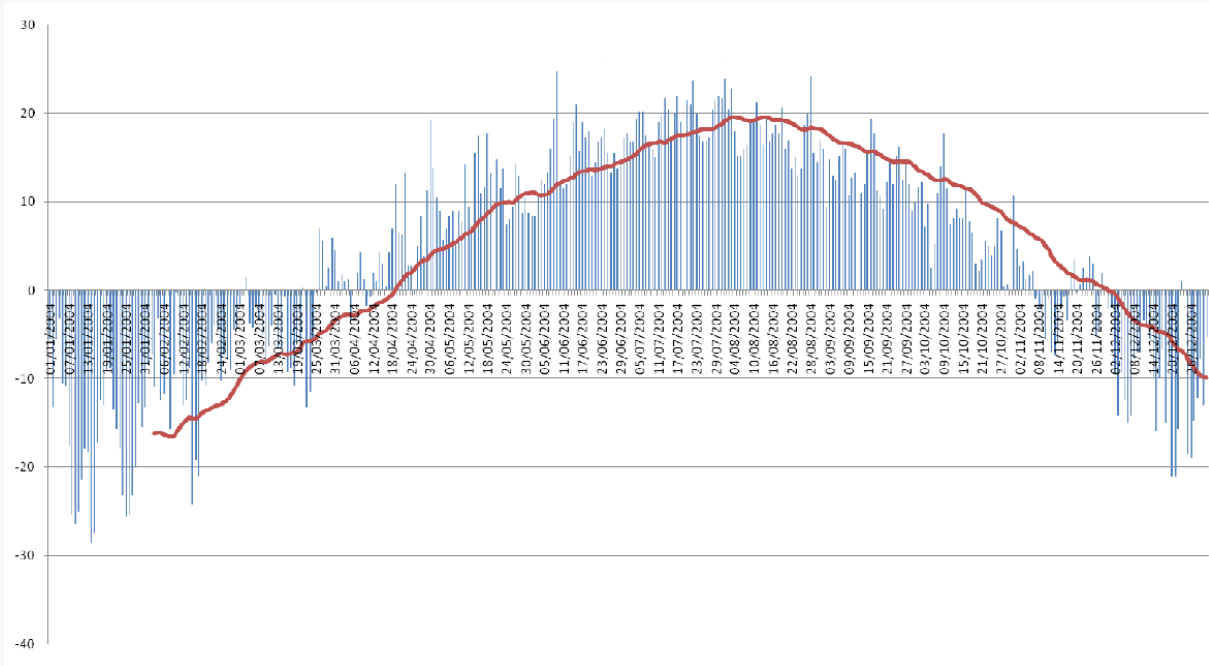


Figura 29 - Perfil de aproximação procurado (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

3.4 Modelagem

3.4.1 Dados

Graças ao site da Utah State University e da base de dados da Embrapa, foram obtidos Tmin, Tmax, Tmédia, nível de precipitação diário, vento médio diário, vento Máximo diário para várias cidades do Rio Grande do Sul desde 1990 até 2009, mas não necessariamente completas. Assim, por causa do número de informações disponíveis, e da importância em

termo de volume para a produção de trigo, a região de Passo Fundo foi escolhida. Mesmo tendo escolhido uma cidade com um número de dados relativamente importantes comparando com as outras, não foi possível obter o comportamento inteiro dessas variáveis de 1990 até 2009. Alguns anos são na verdade inexploráveis.

Resumo do número de dados disponíveis:

Tabela 13 - Numero de dados disponiveis desde 1990 até 2009 (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Ano	Tmin						
	Numero de dados diários por mês disponíveis						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	total
1990	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	26	30	28	29	113
1992	25	25	29	23	14	8	124
1993	-	7	2	7	10	17	43
1994	16	11	18	25	5	26	101
1995	21	28	26	28	23	6	132
1996	-	1	28	30	30	28	117
1997	31	29	26	27	26	19	158
1998	28	24	30	27	21	29	159
1999	18	30	31	31	26	30	166
2000	31	30	31	29	30	28	179
2001	23	30	23	31	30	31	168
2002	-	2	-	-	-	-	2
2003	1	3	-	-	1	-	5
2004	-	-	-	-	-	-	-
2005	1	-	-	-	-	-	1
2006	-	-	-	-	-	-	-
2007		2	30	17	29	31	109
2008	31	30	31	31	30	31	184
2009	31	30	31	31	30	31	184

3.4.2 Modelos disponíveis

General equilibrium approach

Melanie Cao e Jason Wei estão procurando um modelo em tempo discreto a fim de servir de base para avaliar o preço de uma opção. Eles estudaram dados de temperatura de várias cidades nos Estados Unidos, como Chicago, New York, Philadelphia, e concluíram o seguinte: Uma importante correlação das temperaturas diárias num período de curto prazo e uma volatilidade maior durante os invernos.

Mean reverting Model

Alaton, Djehiche e Stillberger (2001) melhoraram o modelo de Dischel (2000). No modelo deles, a temperatura média é definida assim:

Resumindo, o modelo determinístico para a temperatura média no momento t , T_t^m teria a forma

$$T_t^m = A + Bt + C \sin(\omega t + \varphi) \quad (13)$$

Onde os parâmetros A,B e C devem ser escolhidos da maneira que a curva represente bem os dados. Colocando todas as hipóteses juntas, eles modelam a temperatura por a solução do processo estocástico do mean reverting SDE seguinte:

$$dT_t = a(T_t^m - T_t)dt + \sigma_t dW_t, \quad (14)$$

Onde a define a velocidade de reversão. A solução de tal equação é geralmente chamada de Ornstein-Uhlenbeck processo. A solução desse modelo de temperatura é o seguinte:

$$T_t = (x - T_t^m) e^{-a(t-s)} + T_t^m + \int_s^t e^{-a(t-\tau)} \sigma_\tau dW_\tau \quad (15)$$

Porém, Barrieu (2002) mostra que esse modelo, mesmo sendo largamente utilizado na literatura, não é muito adaptado a modelagem de derivativos climáticos por causa de sua

grande sensibilidade em relação ao parâmetro alpha. O que às vezes faz aparecer divergências importantes entre as séries do modelo e a tendência histórica.

Modelo Autoregressivo

Esses modelos são da seguinte forma:

$$T_t = \text{Trend}_t + \text{Sazonalid}_t + \text{Corr}_t + R_t \quad (16)$$

Trend_t , a parte tendência da temperatura, é uma função afim por parte de tempo ao longo dos anos. Sazonalid_t , a parte estação da temperatura, Corr_t , um processo do tipo AR(n) que modela a correlação. R_t , o residual do modelo. Esses modelos são bem eficientes, mas há poucos exemplos na literatura. Por essa razão, é mais confiável usar os modelos mean-reverting.

3.4.3 Resultados

Utiliza-se o modelo de mean-reverting para a temperatura:

$$dT_t = a(\theta - T_t)dt + \gamma dW_t \quad (17)$$

Onde t é o modelo de processo, a velocidade de reversão média, θ a média que o processo se reverte (constante) e γ a volatilidade do processo (constante).

A fórmula torna-se:

$$dT_t = a(\theta_t - T_t)dt + \gamma_t dW_t \quad (18)$$

E necessariamente $E[T_t] \approx \theta_t$

3.4.4 Estimação de theta

Proposição: Se $\Theta_t = \theta(t)$, então o processo dT_t volta para sua média um. A prova da (Dornier e Queruel):

$$T_t = \theta_t + e^{-\int_0^t a ds} \int_0^t e^{\int_0^s a ds} \gamma_s dW_s \quad (19)$$

Com
$$\theta_t = A + Bt + C \sin(\omega t + \varphi) \quad (20)$$

O nosso objetivo é estimar A; B e C. Para ficar mais fácil, escreve-se de novo a segunda parte:

$$\theta(t) = \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 \sin(\omega t) + \beta_4 \cos(\omega t) \quad (21)$$

Onde

$$\begin{cases} A = \beta_1 \\ B = \beta_2 \\ \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\beta_4}{\beta_3} \right) \\ C = \frac{\beta_3}{\cos(\varphi)} \end{cases} \quad (22)$$

Pode-se achar agora $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 por OLS para a estação de observação.

Assim obtêm-se as informações seguintes.

Tabela 14 - Regressão linear a fim de obter a curva theta (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics		ANOVA					
Multiple R	0,73006						
R Square	0,53299						
Adjusted R Square	0,5319						
Standard Error	3,89987						
Observations	1284						
		df	SS	MS	F	Significance F	
		3	22217,9	7405,97	486,948	4,8732E-211	
		1280	19467,5	15,209			
		1283	41685,4				

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 90.0%	Upper 90.0%
Intercept	18,3298	0,21859	83,8562	0	17,901	18,7587	17,97	18,68962763
t	0,00175	0,00029	5,96633	3,1E-09	0,00118	0,00233	0,00127	0,002236337
cos(wt)	-5,40428	0,15362	-35,1792	3E-190	-5,70565	-5,1029	-5,65715	-5,151409428
sin(wt)	-2,03108	0,15557	-13,0554	1,2E-36	-2,33628	-1,72587	-2,28716	-1,774994547

E então: $A = \beta_1 = 18,28$

$B = \beta_2 = 0,00175$

$\Phi = 1,2113$

$C = -5,7733$

Como visto precedentemente, alguns valores são particularmente interessantes de monitorar. Pode-se observar que a variância do erro (15,209) não é tão grande em relação aos dados. A precisão do modelo obtido é então relativamente boa.

Além disso, o p-value, que mede o grau de insignificância do modelo de regressão, aqui é quase zero. Esse valor significa que uma mudança nessas variáveis trará um grande impacto no valor do resultado. O que confirma a boa adequação do modelo.

Obtém-se então a aproximação seguinte:

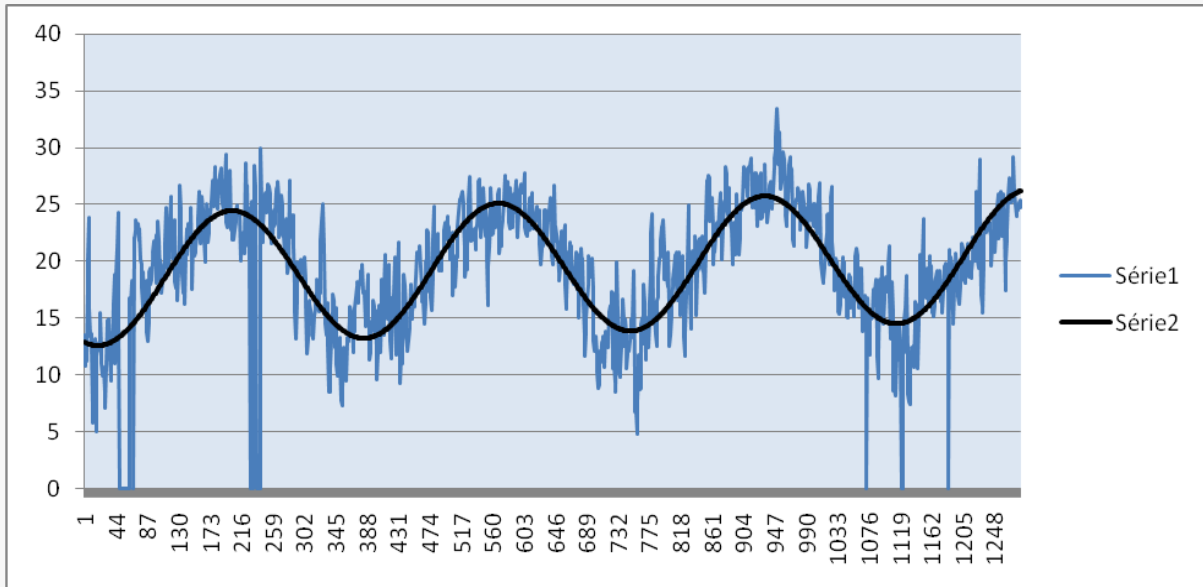


Figura 30- Comparativo entre dados reais e curva de theta obtida (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

3.4.5 Estimação da velocidade de reversão média a

Para M.Mraoua:

$$E[T_i|T_{i-1}] = \theta_i + e^{-a}(T_{i-1} - \theta_{i-1}) \quad (23)$$

$$a = -\log \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(T_{i-1} - \theta_{i-1})}{\gamma_{i-1}^2} (T_i - \theta_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{(T_{i-1} - \theta_{i-1})}{\gamma_{i-1}^2} (T_{i-1} - \theta_{i-1})} \right) \quad (24)$$

O que dá nesse caso um a de 0,87. Este número será utilizado na simulação de Monte Carlo.

3.4.6 Estimação da volatilidade

Como para a velocidade da reversão média, graças a Mr Mraoua, a equação estocástica diferencial do processo de volatilidade a seguinte forma:

$$d\gamma_t = a_\gamma(\gamma_{trend} - \gamma_t)dt + \sigma_\gamma dW_t \quad (25)$$

A partir de Alaton e Al, tem-se:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} (\gamma_{j+1} - \gamma_j)^2 \quad (26)$$

Onde n é o numero de observações. .

Vai-se usar um valor de 0,70 na simulação de Monte Carlo.

3.5 Precificações dos nossos derivativos

Usam-se aqui somente os métodos de Burn Analysis e de Monte Carlo.

3.5.1 Burn Analysis

Derivativo 1

Este método foi utilizado a fim de precificar os diferentes produtos definidos precedentemente. Para o primeiro produto, considerando a opção com o strike de 12°C (3 dias em seguida no período agosto-setembro, que pode ter um impacto significativo no volume de produção de trigo), foi calculado em primeiro o tick por dia para a região de Passo Fundo,

usando dados históricos de produção e do valor da produção obtida no site de banco de dados do IBGE. Pode-se interpretar então como o custo de não produção de um dia para os produtores de trigo da região estudada.

Tabela 15 - Tick por dia em relação ao historico de produção (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Passo Fundo									
	Area Plantada (hectares)	Area Colhida (hectares)	ratio %	Quantidade produzida (toneladas)	Rendimento ton/hectare	Valor da produção (mil R\$)	Preço por tonelada R\$/ton	dias de colta dias	Tick/day R\$
1990	12500	12500	1	18750	1,5	1562,81	83,34986667	45	34729,11111
1991	6000	6000	1	11160	1,86	5637,7	505,1702509	45	125282,2222
1992	5800	5800	1	13340	2,3	6449,89	483,5	45	143330,8889
1993	3300	3300	1	5280	1,6	959,09	181,6458333	45	21313,11111
1994	3300	3300	1	5280	1,6	766	145,0757576	45	17022,22222
1995	2500	2500	1	4500	1,8	596	132,4444444	45	13244,44444
1996	5000	5000	1	9500	1,9	1400	147,3684211	45	31111,11111
1997	400	400	1	400	1	53	132,5	45	1177,77778
1998	3000	3000	1	5700	1,9	741	130	45	16466,66667
1999	3000	3000	1	7200	2,4	1354	188,0555556	45	30088,88889
2000	4000	4000	1	6960	1,74	1364	195,9770115	45	30311,11111
2001	4200	3800	0,90	7980	2,1	1819	227,9448622	45	40422,22222
2002	4800	4800	1	9792	2,04	3945	402,879902	45	87666,66667
2003	5800	5800	1	14268	2,46	6207	435,0294365	45	137933,3333
2004	5500	5500	1	13750	2,5	4114	299,2	45	91422,22222
2005	4800	4800	1	9504	1,98	3041	319,9705387	45	67577,77778
2006	3800	3800	1	8740	2,3	3496	400	45	77688,88889
2007	4000	4000	1	8400	2,1	3360	400	45	74666,66667
2008	4000	4000	1	9600	2,4	3859	401,9791667	45	85755,55556
2009	3400	3400	1	8160	2,4	2856	350	45	63466,66667

Tabela 15 - Tick por dia, em relação ao histórico de produção
Dados: Utah State University e IBGE

Depois disso, foi calculado o payoff teórico dessa opção, sendo que cada vez que a temperatura na vida da opção ficava abaixo de 12°C três dias seguidos durante o período agosto-setembro, se exercia virtualmente a opção. Assim, com os dados disponíveis, um evento dessa natureza teria acontecido 6 vezes, em 1991, 1992, 1995, 1999, 2000 e 2008. Pode-se observar na tabela abaixo que o pior ano foi 1995.

Tabela 16 - Payoffs historicos das opções (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Passo Fundo						
Ano	periodo considerado		Nºdias opção ativa	Rendimento	tick/dia	Payoffs
	inicio	fim		ton/hectare	R\$	R\$
1990	01-août	30-sept	0	1,5	34729,1	0
1991	01-août	30-sept	4	1,86	125282	501129
1992	01-août	30-sept	3	2,3	143331	429993
1993	01-août	30-sept	0	1,6	21313,1	0
1994	01-août	30-sept	0	1,6	17022,2	0
1995	01-août	30-sept	7	1,8	13244,4	92711
1996	01-août	30-sept	0	1,9	31111,1	0
1997	01-août	30-sept	0	1	1177,78	0
1998	01-août	30-sept	0	1,9	16466,7	0
1999	01-août	30-sept	4	2,4	30088,9	120356
2000	01-août	30-sept	3	1,74	30311,1	90933
2001	01-août	30-sept	0	2,1	40422,2	0
2002	01-août	30-sept	0	2,04	87666,7	0
2003	01-août	30-sept	0	2,46	137933	0
2004	01-août	30-sept	0	2,5	91422,2	0
2005	01-août	30-sept	0	1,98	67577,8	0
2006	01-août	30-sept	0	2,3	77688,9	0
2007	01-août	30-sept	0	2,1	74666,7	0
2008	01-août	30-sept	3	2,4	85755,6	257267
2009	01-août	30-sept	0	2,4	63466,7	0

O que dá um Prêmio total da opção de **R\$1 429 388**. Divido pelo número de produtores da região, na hipótese que todos contratam esse tipo de produto, que é de 55, da um preço de **R\$27 134**.

Infelizmente, não foram encontrados os faturamentos mensais e anuais das diferentes fazendas de trigo na região de Passo Fundo, o que dificulta o fato de poder julgar se um investimento desse tamanho poderia ser interessante para os produtores. Porém, a produção de trigo na região de Passo Fundo, e mais geralmente no Rio Grande do Sul, é particularmente grande. Assim, cada fazenda tem uma produção relativamente alta, e um dia de não colheita pode trazer um prejuízo significativo. Além disso, o número de produtores é relativamente baixo, o que implica em um preço maior para cada um se proteger. Com a evolução da tecnologia para os grãos, a tendência é que o volume de produção por fazenda deveria aumentar nos próximos anos, guardando um preço mais ou menos estável do trigo, e talvez crescente, a contratação de uma opção deste tipo vai ficar mais cara ainda.

Derivativo 2

Para o segundo produto criado para esse mercado, usou-se o método de Burn Analysis.

A primeira etapa é verificar se as temperaturas estabelecidas antes para a Região Grande do Sul são coerentes com os dados históricos de Passo Fundo. Assim, a fim de obter um produto mais adequado à região específica de Passo Fundo, as temperaturas foram ligeiramente modificadas. Para o collar, vai se usar então os intervalos seguintes:

$T_{min} \in [3^{\circ}\text{C}, 17^{\circ}\text{C}]$

$T_{max} \in [17^{\circ}\text{C}, 28^{\circ}\text{C}]$

Depois disso, adaptaram-se as maturidades das opções para ser o mais adequado possível para essa região específica, e a fim de não ser muito caro. A temporada teórica é de junho até setembro. Assim,:

- opção PUT sobre a T_{min} strike 3°C = [1 de junho; 30 de setembro], porque o risco de perder uma quantidade importante da produção por causa de um frio excessivo é durante a temporada inteira.
- opção CALL sobre T_{min} strike 17°C = [1 de junho; 30 de junho], porque um calor excessivo durante o primeiro mês de germinação pode causar problemas sérios no rendimento futuro da planta.
- opção PUT sobre a T_{max} strike 17°C = [1 de setembro; 30 de setembro], porque o frio excessivo durante o último mês pode ter consequências importantes no rendimento da planta.
- opção CALL sobre a T_{max} strike 28°C = [1 de junho; 30 de setembro], porque um calor excessivo durante o processo inteiro de crescimento da planta pode causar vários problemas relacionados ao rendimento.

E finalmente, integrou-se um payoff Máximo de R\$20 milhões.

Um gráfico ajuda a entender as condições imputadas:

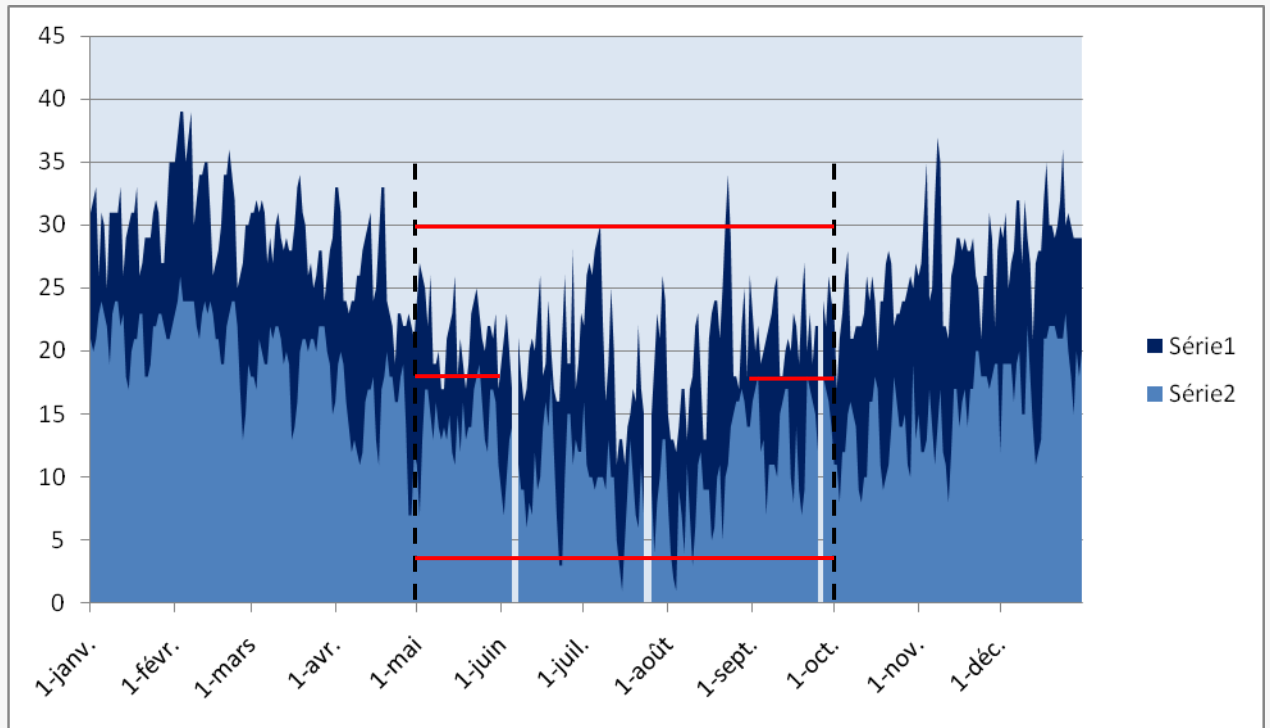


Figura 31- Strike das opções contratadas (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Depois disso, processaram-se os dados como no método do derivativo 1, calculando o payoff histórico desde 1990.

**Tabela 17 - Numero de dias com as opções podendo ser exercidas
(UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)**

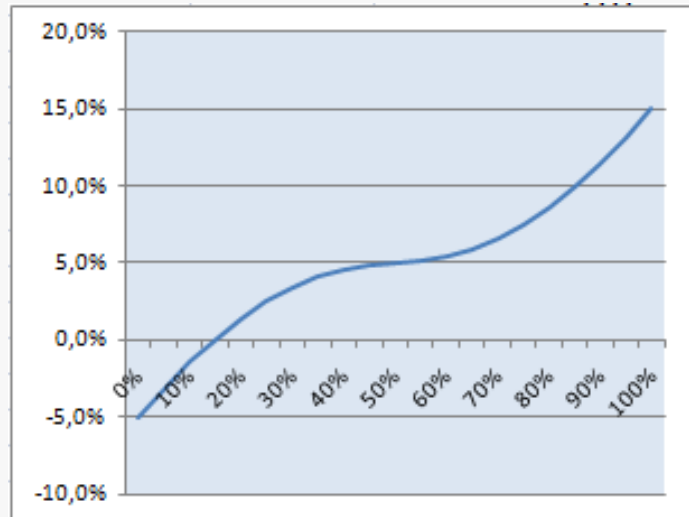
Ano	Numero de dias opção ativa			
	PUT sobre Tmin [jun-sept]	CALL sobre Tmin [junho]	PUT sobre Tmax [sept]	CALL sobre Tmax [jun-sept]
1990	-	-	-	-
1991	4	-	25	18
1992	5	23	13	11
1993	1	5	10	2
1994	1	8	4	9
1995	2	21	21	23
1996	3	-	28	5
1997	5	23	17	17
1998	-	15	19	1
1999	-	19	24	6
2000	9	24	26	11
2001	1	21	18	27
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	-	-	-	-
2006	-	-	-	-
2007	6	-	24	12
2008	5	14	29	2
2009	11	15	24	7
probabilidade	4%	67%	85%	11%

A probabilidade escrita corresponde simplesmente à probabilidade que a opção esteja ativa durante a vida dela.

Segundo as probabilidades, calculou-se uma taxa de risco associada com o perfil seguinte:

Tabela 18 - Taxas de riscos (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Probabilidade	Taxa de risco
0%	-5,0%
5%	-3,1%
10%	-1,4%
15%	0,1%
20%	1,4%
25%	2,5%
30%	3,4%
35%	4,1%
40%	4,6%
45%	4,9%
50%	5,0%
55%	5,1%
60%	5,4%
65%	5,9%
70%	6,6%
75%	7,5%
80%	8,6%
85%	9,9%
90%	11,4%
95%	13,1%
100%	15,0%



Limitaram-se as taxas para as extremas da probabilidade a fim de que a contratação deste tipo de produto não seja desvantajosa para um banco ou para um produtor.

O que dá os preços seguintes:

Tabela 19 - Preço das opções para os produtores de trigo (UTAH STATE UNIVERSITY, IBGE)

Preços das opções				
Ano	Payoffs correspondente ao N° de dias			
	PUT sobre Tmin payoff	CALL sobre Tmin payoff	PUT sobre Tmax payoff	CALL sobre Tmax payoff
1990	-	-	-	-
1991	125 282,22	-	125 282,22	125 282,22
1992	143 330,89	143 330,89	143 330,89	143 330,89
1993	21 313,11	21 313,11	21 313,11	21 313,11
1994	17 022,22	17 022,22	17 022,22	17 022,22
1995	13 244,44	13 244,44	13 244,44	13 244,44
1996	31 111,11	-	31 111,11	31 111,11
1997	1 177,78	1 177,78	1 177,78	1 177,78
1998	-	16 466,67	16 466,67	16 466,67
1999	-	30 088,89	30 088,89	30 088,89
2000	30 311,11	30 311,11	30 311,11	30 311,11
2001	40 422,22	40 422,22	40 422,22	40 422,22
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	-	-	-	-
2006	-	-	-	-
2007	74 666,67	-	74 666,67	74 666,67
2008	85 755,56	85 755,56	85 755,56	85 755,56
2009	63 466,67	63 466,67	63 466,67	63 466,67
TOTAL	53 925,33 BRL	42 054,51 BRL	49 547,11 BRL	49 547,11 BRL
taxa	-3,48%	6,11%	9,81%	-1,01%
PRECO ajustado	52 046,13 BRL	44 624,50 BRL	54 408,73 BRL	49 046,26 BRL
per produtor	946,29 BRL	811,35 BRL	989,25 BRL	891,75 BRL

Pode se ver que as opções com os strikes de 17°C têm uma probabilidade muito grande de ser ativa. Porém a call sobre Tmin é a mais barata de todas. Pode ser explicado pelos payoffs levado em conta para calcular o preço. A ativação deste tipo de opção corresponde aos que não tiveram uma produção muito grande.

Em relação à Put sobre Tmax, seu preço pode ser explicado pelo fato de que o impacto em termo de dinheiro é muito grande.

A fim de obter um preço menor, pode-se construir um outro produto com somente 2 opções e modificando ligeiramente os valores dos strikes.

3.5.2 Simulação com modelo de Monte Carlo

O que é chamado aqui de simulação de Monte Carlo é o método que apresenta as características seguintes:

- Calibra o modelo com os dados históricos usando um técnico de probabilidade máxima.
- Uma vez que os parâmetros são determinados, sequências de tempo são geradas utilizando o processo de Monte Carlo.
- A sequência aleatória segue um ‘mean reverting’ modelo, similar aos modelos utilizados para precificar os derivativos de taxa de juros.
- Varias sequências são geradas. Cada sequência representa um possível cenário de tempo futuro.
- O payout médio da opção correspondente a um cenário é o payout esperado da opção.
- Pegando o valor presente do payout esperado dá o preço justo.

O problema aqui é que o payoff apresentado difere um pouco do payoff tradicional de uma opção : $\text{Max}(\text{temperature} - \text{Strike}, 0) \times \text{Tick}$. Foram apresentados aqui produtos com payoff dependendo do número de dias, que renda a especulação difícil. Assim, é realmente mais complicado de aplicar facilmente o método de Monte Carlo neste tipo de produto. Como consequência disso, vai-se precificar uma opção vanilla com este método.

3.5.2.1 Hipóteses

Seguem as hipóteses utilizadas a fim de construir o modelo:

- T_{min} média que vai ser um: 11,92°C calculado a partir dos dados de Passo Fundo
- A temperatura T_{min} de hoje: usa-se o valor do dia 1º de maio 2009 , ou seja, 9°C, como exemplo. Mas de qualquer maneira o resultado não vai variar muito se o valor usado é diferente.
- Strike : 18°C
- Tick Size : R\$59 534, que corresponde ao tick size médio de 1990 até 2009 em Passo Fundo.
- Maturidade: 4 meses (junho, julho, agosto, setembro)
- Volatilidade: 0,7
- Mean reversion na de Ornstein Ulhenbeck: 0,87

3.5.2.2 Movimento Brownian

A fim de modelizar a temperatura que segue um processo de Ornstein Ulhenbeck, precisa-se de um movimento Brownian. Para fazer isso, usou-se o código desenvolvido por M. Matsumoto e T. Nishimuta.

3.5.2.3 O programa principal – Monte Carlo

A fim de criar um programa principal, usaram-se os códigos do livro “Weather Derivative Pricing” que foram adaptados e modificados porque eram primeiramente previstos para precificar uma opção call de HDD. O programa permite entrar em diferentes valores iniciais

de diferentes parâmetros e, assim, se adaptar facilmente para cada tipo de opção que se precisa precificar.

3.6 Support Vector Machine

Em 1992, um novo técnico apareceu na área de inteligência de computação, que é o Support Vector Machine (SVM) e que está começando ser aplicado ao mercado financeiro. Esse método, de classificação ou regressão, permite no caso da regressão de fazer uma previsão do tempo usando os dados históricos. Realmente chave para a precificação de um derivativo de clima, se as previsões foram realmente confiáveis, um preço mais justo poderia então ser estabelecido.

3.6.1 A teoria

Seria talvez desnecessário explicar realmente tudo sobre os Support Vector Machine, porém, fornecem-se alguns pontos essenciais necessários e suficientes para entender como funciona esse método. O leitor pode recorrer a Vapnik (1995), Vapnik (1998) e Cristianini and Taylor (2000) para uma abordagem mais teórica.

Os SVM é um classificador introduzido por Vapnik e seus colegas em 1992. A classificação é o fato de reconhecer alguns exemplos numa base de dados definidas e classificar esses exemplos em classes distintas. A classificação requer que o SVM seja treinado sobre dados particulares que são separados em um training set e um test set. Todo membro do training set vai ser etiquetado com um valor predefinido, chamado de valor alvo, que corresponde à classe que pertence esse ponto.

Parte-se de um problema de classificação com pontos que pertencem seja na classe positiva, seja na classe negativa. O training set X para este problema contém l casais exemplo-etiqueta.

Um elemento particular deste conjunto de dados é definido pelo vetor $\mathbf{x}_i$ (appartient) $\mathbb{R}^n$ com $1 \leq i \leq l$ e onde os elementos $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ representam

diversos atributos do exemplo. As etiquetas são definidas por $y \in \{-1; 1\}$. O training set é então definido por:

$$X = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}_{i=1}^l. \quad \text{É o } i\text{th vector no data set}$$

$$\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n, \text{ and } \mathbf{x}_i = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (27)$$

$$y \in \{1, -1\}.$$

O objetivo é então de achar uma função que delimita os exemplos do training set em duas regiões que correspondem às classes. Essa fronteira, ou função objetiva, pode ser definida por um hyper-plano, que é um espaço de dimensão n que divide um espaço de dimensão $n+1$. Num exemplo simples de dimensão 2, uma reta pode separar nosso conjunto de dados em 2 classes.

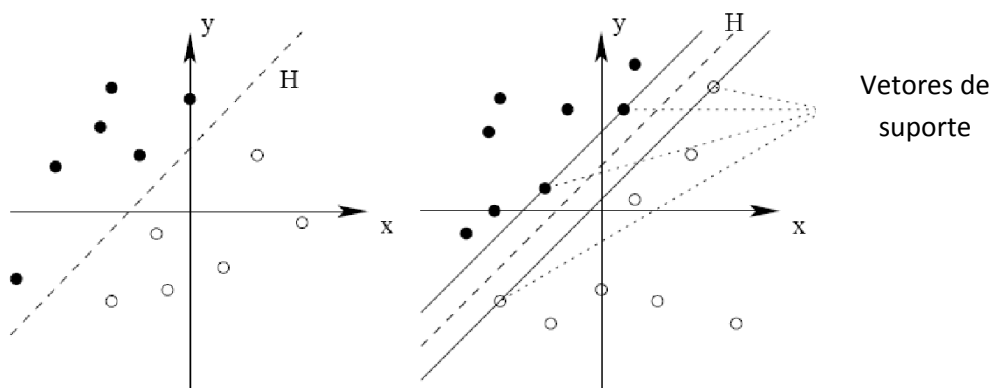


Figura 32 - Vetores de suporte (HASAN, 2006)

Os pontos os mais próximos que vão ser usados para determinar o hyper-plano são chamados de vetores de suporte.

Com certeza, pode-se ver facilmente que tem um número infinito de hyper-plano válidos com essas condições. Mas a propriedade fundamental dos SVM, é que este hyper-plano tem que ser ótimo. Assim, vai se buscar o hyper plano que passa exatamente no meio dos vetores de suporte. Intuitivamente, é equivalente a procurar o hyper plano o mais ‘seguro’. De fato, supõe-se que um exemplo não foi definido com muita precisão, uma pequena variação dos valores não modificaria sua classificação se a distância com o hyper-plano fosse grande. Formalmente é equivalente a buscar um hyper-plano cuja distância mínima com os exemplos

de aprendizagem é máxima. Chama-se esta distância de margem entre o hyper-plano e os exemplos. O hyper-plano separador ótimo é aquele que maximize a margem. Como se busca a maximizar a margem, fala-se de separador a vaste margem.

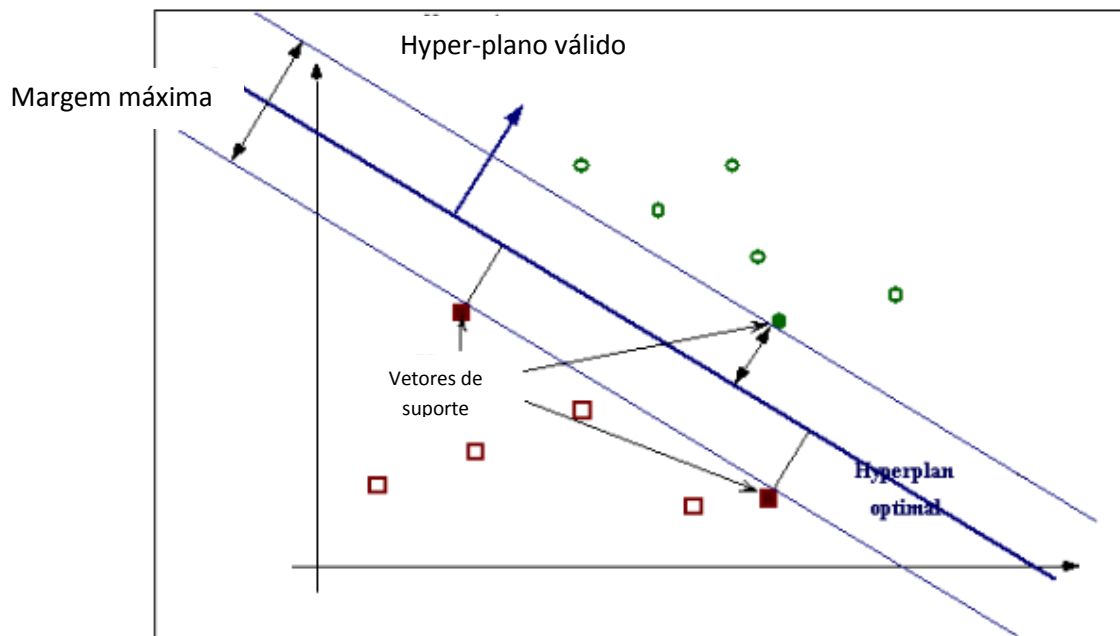


Figura 33 - Hyper-plano com a vaste margem (HASAN, 2006)

3.6.1.1 Utilidade de maximizar a margem

Intuitivamente, o fato de ter uma margem maior dá uma sensação de segurança quando se tem que classificar novos exemplos. Também, se se achar o melhor classificador em relação aos dados de aprendizagem, claramente será também o melhor para classificar novos exemplos. Na figura abaixo, a parte a direita mostra que com um hyper-plano ótimo um novo exemplo vai ser bem classificado, pois cabe na margem. No outro caso, com uma margem menor, o exemplo fica mal classificado.

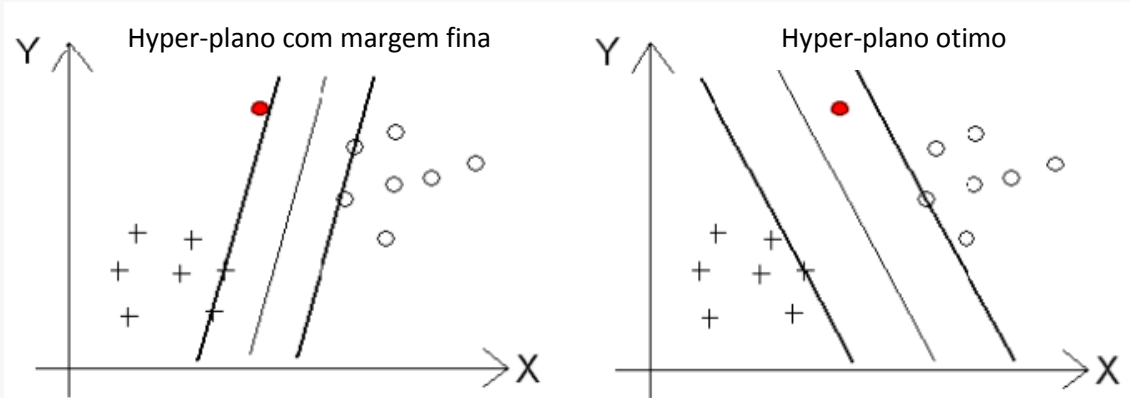


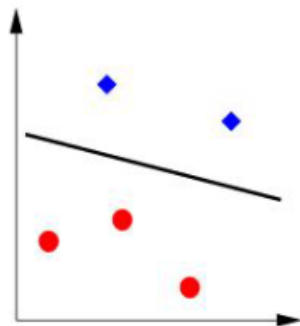
Figura 34 - Relevância de um hyper-plano ótimo (HASAN, 2006)

Em geral, a classificação de um novo exemplo é dada pela sua posição em relação ao hyper-plano.

3.6.1.2 Casos de linearidade e não linearidade

Dentro dos modelos de SVM, separam-se os casos linearmente separáveis e os casos não linearmente separáveis. Os primeiros são os mais simples, pois permitem achar facilmente um classificador linear. Porém, na maioria dos casos, os dados não podem ser separados linearmente.

Caso linearmente separável



Caso não linearmente separável

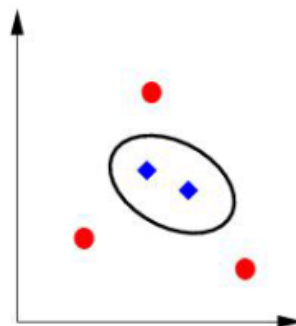
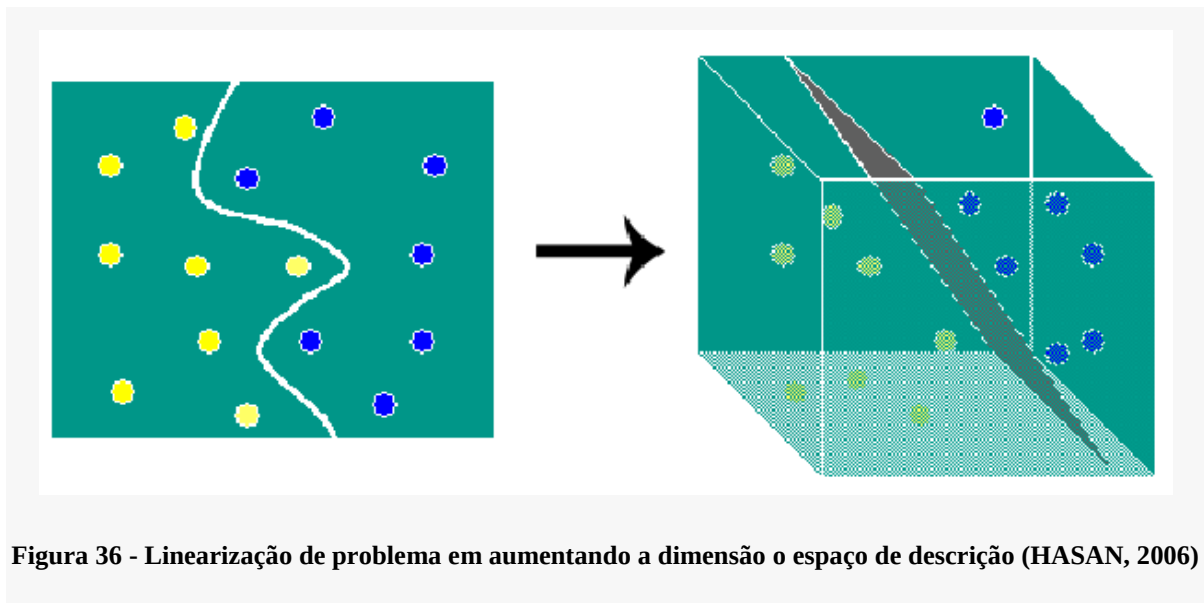


Figura 35 - Diferentes casos de separação de dados (HASAN, 2006)

3.6.1.3 Caso não linearmente separável

Para ultrapassar esta dificuldade de não poder separar os dados de maneira linear, a ideia dos SVM é de mudar o espaço dos dados. A transformação não linear dos dados pode permitir uma separação linear dos exemplos num novo espaço. Observa-se então uma mudança na dimensão do espaço. Quanto mais este espaço de re-descrição é grande, maior a probabilidade de poder achar um hyper-plano que separa os dados linearmente.



Obtém-se então uma transformação de um problema de separação não linear no espaço de descrição num problema de separação linear num espaço de re-descrição de dimensão maior. Esta transformação está sendo realizada através de uma função kernel. Em prática, várias famílias de kernel são conhecidas e o objetivo é achar os parâmetros ótimos a fim de se adaptar melhor ao problema atual. Os mais usados são: polinomial, gaussien, sigmóide e laplacien.

3.6.1.5 Classificação a valores reais

Em vez de construir diretamente $h: X \rightarrow \{-1, 1\}$, constrói-se :

$f: X \rightarrow \mathbb{R}$ (conjunto dos reais). A classe é dada pelo signo de f .

$h = \text{sgn}(f)$.

O erro se calcula com $P(h(X) \neq Y) = P(Y \cdot f(X) \leq 0)$. Isso dá uma ideia da confiança na classificação. Idealmente, $\text{abs}(Y \cdot f(X))$ é proporcional a $P(Y|X)$

$Y \cdot f(X)$ representa a margem de f em (X, Y)

O objetivo é atingir a construção de f , e então h .

3.6.1.5.1 Mudança nas entradas

Pode ser necessário transformar os dados de entradas no objetivo de tratá-las mais com mais facilidade. X é um espaço de qualquer objeto.

Transformam-se as entradas em vetores num espaço F (feature space) pela função:

$\Phi: X \rightarrow F$

F não é necessariamente de dimensão finita, mas dispõe de um produto escalar (espaço de Hilbert). O espaço de Hilbert é a generalização do espaço Euclídes que pode ser sem dimensão.

A não linearidade é tratada nessa transformação, e pode se escolher então uma separação linear. Então, tem que se escolher o hyper-plano que classifica corretamente os dados (quando é possível) e que fica o mais longe possível dos pontos a classificar, e com a margem máxima.

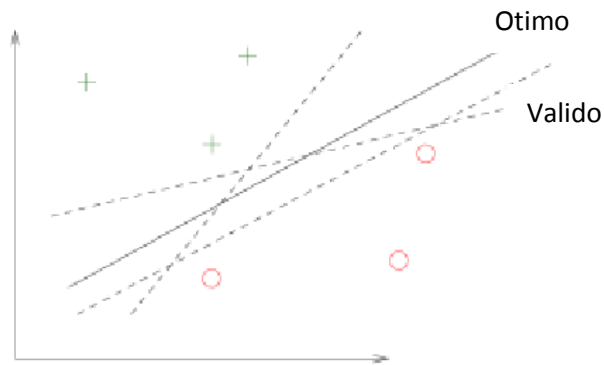


Figura 377 - Hyper-planos validos (HASAN, 2006)

3.6.1.5.2 Maximização da margem

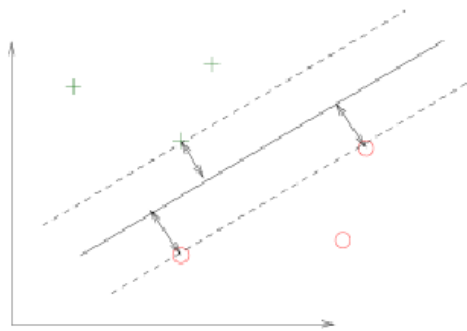


Figura 3838 - Margem entre o hyper-plano e os dados (HASAN, 2006)

Num modelo linear como esse, tem-se $f(x) = w \cdot x + b$

O hyper-plano separador (fronteira de decisão) tem então como equação $w \cdot x + b = 0$

A distância de um ponto ao plano é dada por $d(x) = |w \cdot x + b| / \|w\|$

O hyper-plano ótimo é aquele que maximiza a distância entre o plano e os pontos os mais próximos.

Sejam dois pontos de classes diferentes: $f(x_1) = +1$ e $f(x_2) = -1$

$w \cdot x_1 + b = 1$ e $w \cdot x_2 + b = -1$ então $w \cdot (x_1 - x_2) = 2$ da onde $w / \|w\| \cdot (x_1 - x_2) = 2 / \|w\|$

Maximizar a margem é então a minimizar $\|w\|$ sob algumas condições.

3.6.1.5.3 Problema primal

Um ponto está bem classificado se e somente se $yf(x) > 0$.

Como o casal (w, b) está definido a um coeficiente perto, impõe-se $yf(x) > 1$.

Deduz-se o problema de minimização seguinte :

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \forall i, y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 \end{cases} \quad (28)$$

E as vezes mais fácil minimizar $\|w\|^2$ que $\|w\|$.

3.6.1.6 Caso com margem mole

Inicia-se com o problema primal linear, e se introduz variáveis “mole” para ser menos restritivo.

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \\ \forall i, y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i \end{cases} \quad (29)$$

Penalizam-se quando ultrapassa o estresse.

O problema dual tem a forma seguinte:

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i \cdot x_j \\ \forall i, 0 \leq \alpha_i \leq C \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \end{cases} \quad (30)$$

A única diferença é a borne superior C para os α .

No caso linear, pode se transformar os dados num espaço onde a classificação é simplificada. Neste caso, o espaço de r descrição geralmente usado é R . Porém, para os casos não lineares, este espaço não é suficiente. Passa-se então num espaço maior.

$$\Phi: R^d \rightarrow F; x \mapsto \varphi(x)$$

Exemplo

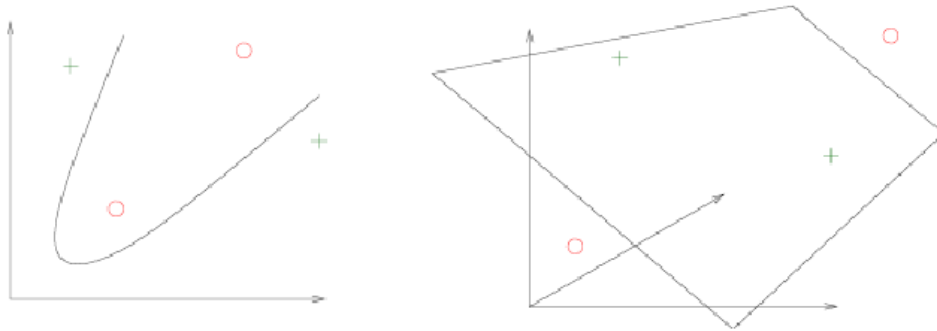


Figura 39 - Passagem no espaço de redescritção (HASAN, 2006)

De passar em R^3 rende possível a separação linear dos dados.

O problema a solver é então:

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) \\ \forall i, 0 \leq \alpha_i \leq C \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \end{cases} \quad (31)$$

E a solução tem a forma:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i^* y_i \Phi(x_i) \cdot \Phi(x) + b \quad (32)$$

O problema e a sua solução só dependem do produto escalar $\Phi(x) \cdot \Phi(x')$.

4 exemplos de função kernel utilizadas:

- Linear : $k(x, x') = x \cdot x'$
- Polynomial : $k(x, x') = (x \cdot x')^d$ ou $(c + x \cdot x')^c$
- Gaussian : $k(x, x') = \exp(-\|x - x'\|^2 / \sigma)$
- Laplacien : $k(x, x') = \exp(-\|x - x'\|_1 / \sigma)$

3.6.2 A teoria dos SVM: Regressão

O princípio de SVM explicado até agora é usado para problemas de classificação. Porém, os SVM podem ser estendidos facilmente para tarefas de regressão e predição de séries de dados, que nos interessam aqui. O problema de otimização é agora transformado em um problema de minimização de uma função custo q função de uma margem mole C. Esta função custo q tem um desvio máximo ε , conhecido como o tamanho do tudo do SVM, do valor atual Y_i para todos os x_i . A função custo é definida como:

$$q(C) = \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{\varepsilon}(y_i, y_i^*). \quad (33)$$

$$L_{\varepsilon}(y_i, y_i^*) = \begin{cases} |y_i^* - y_i| - \varepsilon & \text{if } |y_i^* - y_i| \geq \varepsilon. \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

O vetor Y_i^* é o output previsto para o output desejado Y_i . Se o valor absoluto entre o output previsto e o output desejado é igual ou maior que ε , cuja sensibilidade é medida pela função L, a função pênalti $C \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{\varepsilon}(y_i, y_i^*)$ também conhecida como risco empírico, aumenta e penaliza assim o erro pelo valor da margem mole C. Introduzindo as variáveis moles ξ_i e ξ_i^* , que significam erros maiores que $+\varepsilon$ e $-\varepsilon$ respectivamente, o problema de otimização se torna:

$$\underset{\mathbf{w}, \xi^{(*)}}{\text{minimize}} \quad q(C) = \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*), \quad (34)$$

$$\text{subject to:} \quad y_i - \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle - b_i \leq \varepsilon + \xi_i, \quad (35)$$

$$-y_i + \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle + b_i \leq \varepsilon + \xi_i^*, \quad (36)$$

$$\xi^{(*)} \geq 0. \quad (37)$$

Para o problema de otimização acima, a observação mais recente é para $i=n$ e a observação mais cedo é para $i=1$. Aplicando a teoria de Lagrange para obter uma formulação dual deste problema de otimização, o vetor de peso $\mathbf{w}$ é:

$$\mathbf{w} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \mathbf{x}_i. \quad (38)$$

Substituindo o vetor peso na equação de cima para a função de regressão $f(\mathbf{x}) = \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b$, forma a função seguinte:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \langle \mathbf{x}, \mathbf{x}_i \rangle + b. \quad (39)$$

Para obter os multiplicadores de Lagrange α_i e α_i^* , o problema de otimização deve ser resolvido com essa formulação dual:

$$\underset{\alpha^{(*)}}{\text{maximize}} \quad q = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) y_i - \varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) \langle \mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j \rangle, \quad (40)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0, \quad (41)$$

$$0 \leq \alpha_i^{(*)} \leq C. \quad (42)$$

O vetor onde $(\alpha_i - \alpha_i^*)$ é diferente de 0 são chamados vetores de suporte. Os vetores $|\alpha_i - \alpha_i^*| = C$ ficam fora da fronteira da função objetiva e são conhecidos como vetores de suporte erros. Os vetores com $0 < |\alpha_i - \alpha_i^*| < C$ ficam exatamente no limite da função objetiva e são conhecidos como os vetores de suporte de não erro. O produto escalar na equação de cima pode ser trocado por uma função kernel apresentadas mais cedo neste trabalho.

3.6.3 A prática

Um algoritmo Matlab foi desenvolvido, usando a livreria LibSVM disponível no internet, com uma função kernel Gaussian (RBF).

Os dados de temperaturas foram divididos em 2 grupos, o primeiro para treinar o algoritmo e obter vetores de suporte (80% dos dados), e a outra parte a fim de ver se o nosso modelo consegue fazer previsões confiáveis (20%). Assim, o erro foi calculado entre o valor esperado e o valor obtido. Por isso, usou-se a medida Mean Square Error (MSE) (Mood et al., 1974) definida como :

$$MSE = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (y_i - y_i^*)^2. \quad (43)$$

Depois de alguns testes, a precisão do modelo obtida era de **58,62%**. Ou seja, os valores obtidos com a regressão dos Support Vector Machine dá uma indicação boa das futuras temperaturas em termo de direção se têm uma tendência de aumento ou de descida, mas que ficam pouco precisas para precificar de maneira justa o derivativo. E assim pode resultar um preço maior ou menor do que deveria ser, e ser vantajoso seja para o produtor, seja para o bancário.

Em termo de comparação, pode-se pensar às previsões de clima dos diferentes canais de radio, de televisão ou de aeroporto. Bem mais complexas e precisas, pois têm por objetivo de simular as trajetórias das nuvens, da quantidade de chuva ... estes diferentes métodos conseguem atingir uma precisão de 80%-90% sobre todas as variáveis até 3 dias. As previsões além de uma semana começam ser mais aleatórias.

Devido à complexidade relativamente baixa do modelo, vai ser complicado obter dados simulados muito mais precisos. De fato, o modelo de temperatura utilizado baseado sobre Support Vector Machine, não pretende simular exatamente o clima, não tem por objetivo de simular as trajetórias das nuvens ou dos fluxos de calor, mas só eventuais temperaturas futuras. Porém, a temperatura depende totalmente da evolução de vários fenômenos climáticos. Então, o modelo usado é uma simplificação relativamente importante. A vantagem de usar esse tipo de ferramenta, é que uma boa aproximação das temperaturas futuras é

fornecida e permite de precificar o modelo. Porém, a utilização de uma simulação não é suficiente, é melhor levar em conta também os dados históricos.

4. Conclusão

Este estudo foi realizado a fim de apresentar um estado do mercado dos derivativos de clima no mundo, de conhecer as estruturas dos diferentes produtos e, principalmente, alguns métodos de precificação a fim de obter um preço o mais justo possível. Através dos exemplos dados, se mostrou que a principal dificuldade encontrada neste mercado para se desenvolver é que até hoje nenhum modelo de precificação facilmente aplicável e confiável foi encontrado. As pesquisas atuais estão tentando se focar no campo de algoritmos de aprendizagem, ou seja, o uso de algoritmos genéticos ou de support vector machine a fim de prever o tempo.

Porém, alguns resultados interessantes foram obtidos. O método de Burn analysis permite de fato de obter um preço coerente, pois vinculado diretamente com o histórico do clima e de produção de trigo. Devido ao agenciamento das fazendas no Rio Grande do Sul, que são principalmente grandes produções, a compra das opções pode parecer um investimento relativamente alto à primeira vista. De fato, quantos fazendeiros seriam predispostos a pagar cerca de R\$140 000 para se proteger contra um eventual Alea climático mesmo tendo a capacidade financeira? Mas também, sem ser um produto de especulação, poderia ser interessante para um banco de estabelecer um contrato com um produtor de trigo?

Num período de reflexão na escala mundial de uma regulação maior do sistema financeiro, a estruturação de um produto de clima poderia parecer inapropriada. Porém, a relevância de um produto assim é real, pois boa parte da economia esta sendo impactada pelas mudanças atuais e futuras do tempo. Mais que uma questão de ser útil ou não, o real critério que fará que esse mercado exista é de poder dar um preço a ele. E mesmo se este objetivo for atingido, pode existir um mercado deste tipo depois de uma crise financeira como se conheceu em 2008? E, de um instrumento de proteção, poderia se tornar algo somente especulativo, esquecendo o objetivo primeiro de compensar as perdas de um produtor?

Referências

- ALATON Peter, BOUALEM Djehiche “On Modelling and Pricing Weather Derivatives”
- BARRIEU Pauline, SCAILLER Olivier, “A primer on Weather Derivatives”, 2009
- Banque de France “Titrisation des risques catastrophes: les Cat-bonds”
- BACHELIER Louis, “Théorie de la spéculation”, Gauthier-Villars, Paris, Annales Scientifiques de l’École Normale Supérieure 3 (17): 21–86, 1900
- BNDES, <http://www.bndes.gov.br/>
- BROWN Claude, “Environmental and Climatic Derivatives”, London 2003
- BROWN S. et al. (1995). Survival. Journal of Finance 50, 853–873
- BRUM Argemiro Luis, KETTENHUBER Patricia, “O comércio internacional e a cadeia produtiva do trigo no Brasil”
- CAO Mélanie et al., “Weather derivatives: A new class of financial instruments”,
- CAO Mélanie, WEI Jason, “Pricing the weather”. Risk magazine p.67-70
- CAO Mélanie, WEI Jason, “Pricing Weather Derivatives: An equilibrium approach” Manuscript.
- CLIMETRIX, <http://www.climetrix.com>
- CME website, <http://www.cme.com/trading/prd/weatfer/>
- COODETEC, IV Reunião da comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale “Informações Técnicas para Trigo e Triticale – Safra 2011”,
- CORTES C., VAPNIK V. “Support vector networks. Machine learning”, 20: 273 – 297, 1995
- CRISTIANINI, N., SHAW Taylor, “An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods.” Cambridge: Cambridge University Press, 2000
- CSIPAI Edson - Bunge Alimentos S.A., “Cenário do trigo para o Brasil”, Bunge Alimentos S.A.
- CYR Don, KUSY Martin “Identification of stochastic processes for an estimated icewine temperature hedging variable”
- DEERE, http://www.deere.com.br/pt_BR/

DUTANG Cristophe et al., “Les dérivés climatiques et énergétiques”, 2007

GUARIENTI Eliana Maria et al. “Influências das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial e em rendimento de grãos de trigo”, “Produção de trigo”

Governo de Republica federativa do Brasil, <http://www.brasil.gov.br/>

HEMSWORTH Patricia, “Protecting Winter Profit”, CME publication, 2005

HIROSHI HIRAKURI Marcelo “Analise de cenarios para a produção de trigo para a safra 2010: Um estudo de caso para a região de londrina, no estado do Paraná”

JEWSON Stephen, MIHAIL ZIRVOS, “No-arbitrage Pricing of Weather Derivative in the presence of a liquid swap market”, 2005

INPE, <http://agricultura.cptec.inpe.br/>, <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>

JEWSON Stephen, BRIX Anders, “Weather Derivative Valuation: The Meteorological, Statistical, Financial and Mathematical Foundations”, Cambridge University Press

KIM K., “Financial time series forecasting using Support Vector Machines.” Neurocomputing 55, 307-319, 2003.

LESSMANN S., et al., “Genetic Algorithms for SVM Model Selection”. International Joint Conference on Neural Networks Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada, 2006

MRAOUA M., “Temperature stochastic modeling and weather derivatives pricing: empirical study with Moroccan Data”, 2006

MÜLLER Andreas, GRANDI Grandi, Munich RE “Weather derivatives for protection against weather risks”,

MYERS Randy, “What Every CEO need to know about Weather Risk Management”
Benchmark Study on Corporate Weather Risk Practices, sponsored by the CME Group and Storm Exchange, 2008

Noticias agrícola, <http://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/trigo>

PLANTAZ Aurélien, “Le marché des dérivés climatiques”, 2007

PLATEN Eckhard, WEST Jason, “Fair pricing on Weather Derivatives”, 2004

PricewaterhouseCoopers in association with the Weather Risk Management Association – 2006 Results

RICHETTI Alceu, “Estimativa do custo de produção do trigo, Safra 2010, na região Sul de Mato Grosso do Sul”

RICKEN José Roberto, “Oferta e demanda de trigo no Brasil”

Secretaria da agricultura da Bahia, <http://www.seagri.ba.gov.br/>

Serviço geológico do Brasil,

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>

THISSEN U et al. “Using support vector machines for time series prediction” Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 69, 35 – 49, 2003

Utah State University, <http://climate.usurf.usu.edu/>

Weather Risk Management Association, <http://www.wma.org>