

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva

Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação

Autor: Igor de Oliveira Martins
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli

Brasília, DF
2015



Igor de Oliveira Martins

Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli

Brasília, DF

2015

Igor de Oliveira Martins
Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação/ Igor de Oliveira Martins.
– Brasília, DF, 2015-
43 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2015.

1. Bézier. 2. Design. I. Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação

CDU 02:141:005.6??

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Igor de Oliveira Martins

TÍTULO: Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação.

GRAU / ANO: Bacharel / 2015

À Universidade de Brasília é permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Igor de Oliveira Martins

Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 27/11/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli
Orientador

Prof. Dr.
Membro Convidado

Eng.
Membro Convidado

Eng.
Membro Convidado

Brasília, DF
2015

*Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos
por sempre estarem ao meu lado me dando apoio sempre que preciso.*

Agradecimentos

Quero agradecer à minha família minha Mãe, meu Pai e minha Irmã, que ajudaram a formar o primeiro engenheiro da nossa família e por todo apoio concebido por eles durante essa trajetória.

Aos meus amigos que, junto com a minha família, foram o suporte nas horas difíceis. Agradeço a todos que aguentam meus defeitos e me fazem ser melhor a cada dia. Em especial Goiano, Juarez, Nelson, Paulo, João Marcos, Danilo, Bruno, Paulo César, Ricardo, Àbner e Izaura.

Aos amigos que pude fazer na UnB, que levarei para a vida toda, Davi, Diogo Motoca, Arthur Jahn, Áulus Diniz, Gabriel, Pedro Henrique e Thabatha Granja.

Aos meus mestres que sem alguns deles nada disso teria sido possível. Alguns tiveram uma importância maior na minha vida, tanto como profissional, como pessoal. Em primeiro lugar quero agradecer o Prof. Fragelli, meu orientador, que há tantos anos me suporta e que o tenho como um segundo pai, sempre me guiando nos caminhos certos e me envolvendo em seus projetos mais ambiciosos. Em seguida aos professores que me espelho e juntos com o Prof. Fragelli são meus ideais do que é ser professor e pessoa, prof. Vinicius Rispoli, prof. Henrique e profa. Suélia.

Aos membros da banca de avaliação deste trabalho que dedicaram tempo para ler, comentar e ajudar na conclusão deste trabalho, prof. Henrique, prof. Mateus, além do meu orientador.

"Nothing is true, everything is permited"
(Vladimir Bartol, Alamut)

Resumo

O design é um elemento crítico para o crescimento global (CINTI, 2001), muitas companhias têm se sobressaído perante as outras diante de seus designs inovadores e atrativos, e tendo em vista o cenário automotivo nos últimos anos, pôde-se notar o quão crescente é a importância de um produto com um design único. Buscando colaborar com a criação de novos modelos e o desenvolvimento de novos designs, o objetivo principal deste trabalho é a apresentação de dois modelos alternativos para deformação de polígonos com base na reação em cadeia nos seus vértices. A partir disso, foram realizadas simulações nos modelos onde foi possível observar resultados distintos em termos da suavização na deformação. Os modelos possuem elementos suficientes que influenciam na abrangência da deformação e no decaimento da proporcionalidade entre os deslocamentos dos pares de vértices indutor-induzido. Além disso, um aspecto importante abordado neste trabalho é o estudo de outras técnicas de criação de superfícies e curvas paramétricas dentre elas estão as curvas e superfícies de Bézier e as curvas B-Spline.

Palavras-chaves: Design, CAD, Bézier, Superfícies para Deformação, Curvas Paramétricas.

Abstract

Design is a critical element in our global growth (CINTI, 2001), many companies have distinguished themselves from the others because of their attractive innovative designs, and in view of the automotive scene in recent years, could be noted how increasing is the importance of a product with an unique design. Seeking to collaborate with the creation of new models and the development of new designs, the main objective of this paper is to present two alternative models for polygon deformation based on the chain reaction in the vertices. From this, simulations were performed on models where we could see different results in terms of smoothing the deformation. The models have sufficient evidence to influence the extent of deformation and decay of proportionality between the displacement of the pair of inductor-induced vertices. In addition, an important aspect addressed in this work is the study of other techniques for creating parametric curves and surfaces amongst them are the Bézier curves and surfaces and B-spline curves.

Key-words: Design, CAD, Bézier, Surfaces for Deformation, Parametric Curves.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Construção cônica de um cockpit de avião de combate.	16
Figura 2 – Exemplos de curvas de Bézier para diferentes graus.	18
Figura 3 – Comportamento dos polinômios de Bernstein.	19
Figura 4 – Superfície Cúbica de Bézier.	21
Figura 5 – Exemplo 1 de spline cúbica.	23
Figura 6 – Exemplo 2 de spline cúbica.	23
Figura 7 – Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia	24
Figura 8 – Reposicionamento de um vértice B em reação a um deslocamento de um vértice indutor A	25
Figura 9 – Comportamento dos vértices no modelo de deformação proporcional induzido.	26
Figura 10 – Comportamento dos vértices no MDPI.	26
Figura 11 – MDPC ($k_1 = 0.01, k_2 = 1.2$).	27
Figura 12 – MDPC ($k_1 = 0.001, k_2 = 1.2$).	27
Figura 13 – MDPC ($k_1 = 0.01, k_2 = 2$).	28
Figura 14 – MDPC ($k_1 = 0.001, k_2 = 2$).	28
Figura 15 – Comparativo dos resultados do MDPC com diferentes atributos e mesma deformação.	28
Figura 16 – MDPI ($k_1 = 0.01, k_2 = 3.2$).	29
Figura 17 – MDPI ($k_1 = 0.001, k_2 = 1.2$).	29
Figura 18 – MDPI ($k_1 = 0.01, k_2 = 2$).	29
Figura 19 – MDPI ($k_1 = 0.001, k_2 = 2$).	30
Figura 20 – Comparativo dos resultados do MDPI com diferentes atributos e mesma deformação.	30
Figura 21 – Comportamento de $P_{(i)}$ em relação a i para $k_1 = 1$ e k_2 de 0.5 à 2.5. . .	30
Figura 22 – Comportamento de $P_{(i)}$ em relação a i para $k_1 = 3$ e k_2 de 0.5 à 2.5. . .	31
Figura 23 – Comportamento de $P_{(i)}$ em relação a i para $k_1 = 5$ e k_2 de 0.5 à 2.5. . .	31
Figura 24 – Comportamento de P em relação a i	36
Figura 25 – Comportamento de P em relação a i	36
Figura 26 – Comportamento de P em relação a i	36
Figura 27 – Comportamento de P em relação a i	37
Figura 28 – Comportamento de P em relação a i	37
Figura 29 – Comportamento de P em relação a i	37
Figura 30 – Comportamento de P em relação a i	37
Figura 31 – Comportamento de P em relação a i	38

Lista de abreviaturas e siglas

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CATIA	<i>Computer Aided Three-dimensional Interactive Application</i>
MDPC	Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia
MDPI	Modelo de Deformação Proporcional Induzido

Sumário

1	Introdução	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	METODOLOGIA	14
1.3.1	Etapas e Cronograma de Trabalho	15
1.3.2	Organização do Trabalho	15
2	Referencial Teórico	16
2.1	Computer Aided Design - CAD	16
2.1.1	CAD na Indústria Automotiva	17
2.2	Curvas de Bézier	18
2.2.1	Cúbica de Bézier e Superfícies	19
2.3	B-Spline	21
3	Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação	24
3.1	Apresentação dos Modelos	24
3.1.1	Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia (MDPC)	24
3.1.2	Modelo de Deformação Proporcional Induzido (MDPI)	25
4	Resultados Parciais	27
4.1	Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia (MDPC)	27
4.2	Modelo de Deformação Proporcional Induzido (MDPI)	28
4.2.1	Trabalhos Futuros	32
	Referências	33
	Anexos	35
	ANEXO A Imagens	36
	ANEXO B Código do Simulador	39

1 Introdução

Este capítulo apresenta a contextualização, os objetivos, a metodologia e a organização deste trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os simuladores computacionais são programas que tentam demonstrar como se comportariam determinados eventos na realidade, sendo utilizadas em diversas áreas (HECKLER; FÁTIMA, 2007). Em alguns simuladores é necessária a utilização de curvas paramétricas, como no desenvolvimento de automóveis, aviões, navios, por questões de conforto e estética entre outros (MOTHÉ, 2006). Os objetos em questão, que possuem formas variadas e de difícil obtenção são chamados de objetos de forma livre (SEDERBERG; PARRY, 1986; FIGUEIREDO; CARVALHO, 1991).

No contexto atual do mercado automotivo, o design veio se tornando uma ferramenta chave para muitas montadoras que visam uma vantagem competitiva, companhias essas que procuram inovar e desenvolver produtos que sejam objetos de desejo por conta de seus designs.

O design deve chamar a atenção de diferentes consumidores, fazendo com que a demanda por aquele determinado produto cresça, logo aumentando os potenciais compradores.

O design automotivo, em sua essência, é o nascimento de um produto que os consumidores irão querer. Por muito tempo, o processo de criação do design de um automóvel tem sido uma mistura de muito trabalho artesanal e processos modernos, entretanto essas duas metodologias nunca funcionaram perfeitamente em sincronia, resultando em perdas de idéias, retrabalho e design pobre. Mas ainda sim muitos veículos foram produzidos e criados dessa maneira, o que mostra que este processo não é falho e sim apenas ineficiente (MATTISON, 2006).

Dentre os processos modernos, existe o design assistido por computador (CAD – computer aided design), em que se é possível modelar curvas e superfícies de maneira bastante simples e intuitiva para qualquer tipo de propósito (MOTHÉ, 2006).

Este trabalho aborda a criação de dois modelos alternativos as curvas de Bézier e as B-Spline. A criação de modelos possibilita o estudo ou a simulação de situações reais com conveniência e economia. A modelagem é o fator básico dos sistemas CAD. Métodos de modelagem geométrica é uma síntese de técnicas de diferentes áreas como a geometria analítica, cálculo vetorial, teoria de conjuntos e análise numérica (FILHO, 2007).

1.2 Objetivos

Nesta seção será apresentado os principais objetivos da pesquisa proposta, que estão organizados em: objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

- Apresentar dois modelos alternativos para deformação de regiões poligonais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma ferramenta para uso em simuladores computacionais.
- Desenvolver um módulo de visualização para a apresentação dos modelos.

1.3 METODOLOGIA

Tendo em vista os objetivos gerais deste TCC, é utilizada a pesquisa exploratória com o propósito de compreender as linhas de pesquisa relacionadas aos simuladores computacionais, baseando-se os estudos em design assistido por computador (CAD – Computer Aided Design), deformação de superfícies e curvas paramétricas para o desenvolvimento do simulador proposto.

Inicialmente, foram identificados os artigos científicos, estudos sobre os tipos de curvas e simuladores que se alinhem aos objetivos desse trabalho, possibilitando um conhecimento mais abrangente acerca dos simuladores computacionais e da engenharia automotiva, e uma breve apresentação da história do design assistido por computador (CAD).

O passo seguinte foi definir o escopo do trabalho, tendo em vista as complicações relacionadas ao desenvolvimento de um novo método aplicado ao design assistido por computador (CAD). Leva-se em consideração o tempo disponível para o desenvolvimento do ambiente de simulação, além de definir e estudar as tecnologias que mais se adequassem segundo os requerimentos do sistema.

A medida em que as atividades foram sendo cumpridas, um refinamento na pesquisa foi sendo feito para que as novas diretrizes agregassem um maior valor ao trabalho, e o desenvolvimento de um simulador teste foi implementado em *Actionscript 2.0* para a validação das equações propostas por ambos os modelos.

1.3.1 Etapas e Cronograma de Trabalho

Etapa 1 - Estudo acerca do referencial teórico

Etapa 2 - Estudo das tecnologias para o desenvolvimento do simulador

Etapa 3 - Definição da proposta de trabalho

Etapa 4 - Escrita do TCC 1.

Tabela 1 – Cronograma de Trabalho

Etapas	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4
1	x	x		
2		x	x	
3			x	x
4				x

1.3.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está subdividido em quatro capítulos. No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico utilizado nesta pesquisa contendo um subtópico sobre o CAD, que aborda um pouco sobre a história dos CAD ao longo dos anos e como seu papel foi importante para a indústria automotiva; depois um subtópico acerca das curvas de bézier, que explicita as equações e o funcionamento das curvas e superfícies de bézier; e um subtópico sobre as B-Spline, no qual são abordados suas principais equações

No capítulo 3 é apresentada a proposta deste TCC, dois modelos para deformação de superfícies. Primeiramente o modelo de deformação proporcional em cadeia, e na outra seção o modelo de deformação proporcional induzido, bem como o comportamento das duas equações propostas e uma visão geral do comportamento dos modelos quando aplicados a um polígono.

O capítulo 4 apresenta as considerações e os resultados parciais que pode-se obter com esse estudo, o estado atual do desenvolvimento e as perspectivas para trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo aborda uma descrição mais detalhada das referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Computer Aided Design - CAD

O uso de computadores revolucionou os negócios e os processos da indústria, incluindo as práticas de design e elaboração de projetos, o design assistido por computador é o processo de usar um computador com software CAD para o design e elaboração de aplicações. O uso do CAD tem tornado o processo de design mais rápido e preciso.

O CAD permite que designers produzam desenhos mais exatos que sejam elegantes, legíveis e que se adequem aos padrões industriais. A utilização do CAD melhora a habilidade de designers serem mais criativos por proporcionar muitas ferramentas tais como modelagem sólida, animação e realidade virtual (MADSEN, 2011).

O CAD rapidamente se tornou uma tecnologia a ser levada a sério. As companhias começaram a considerar os benefícios que essa ferramenta poderia trazer como a produção de desenhos profissionais. Profissionais da área tiveram que encarar o desafio de converter suas habilidades em desenhos gerados através de computadores.

Em 1944, R. Liming apresentou pela primeira vez uma combinação de métodos clássicos de elaboração de designs com técnicas computacionais em seu livro, em que se eram usadas formas de linhas cônicas, tanto para aeronaves como para navios como mostra a Figura 1.

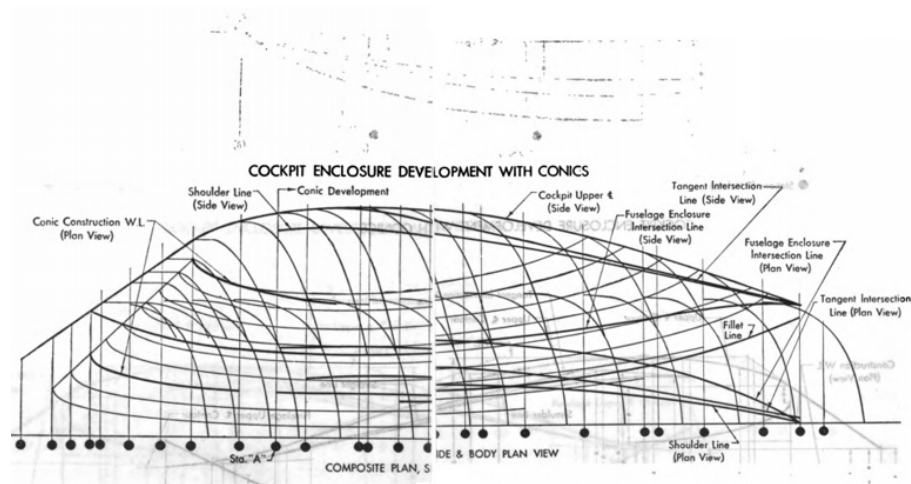


Figura 1 – Construção cônica de um cockpit de avião de combate.
Fonte: (LIMING, 1944)

Liming descobriu um modo alternativo que seria mais eficiente que utilizar somente as habilidades de um desenhista habilidoso. Ele pensou em guardar armazenar o design em termos de número em vez de curvas manuais (FARIN, 1988). Steve Coons, nesta mesma época, estava trabalhando na conversão de desenhos aeronáuticos em computacionais (COONS, 1985). Todo o desenvolvimento do CAD não seria possível sem o avanço da tecnologia computacional. Antes os computadores eram utilizados na indústria apenas para carregar simples informações e não para computar formas de objetos complicados.

O principal interesse quando se está desenvolvendo o design de determinada estrutura, é que esse processo seja rápido e descomplicado. Antes do advento desses sistemas, as mesas de desenhos podiam ultrapassar o tamanho de mesas de billar e simples tarefas podiam ser extremamente longas de serem executadas, por exemplo, uma nova vista de uma peça de alta complexidade, que levaria dias para ser feita, leva segundos para ser obtida por computadores (FARIN, 1988).

2.1.1 CAD na Indústria Automotiva

Segundo Pierre Bézier a forma de um carro é muito mais complicada do que a de uma aeronave e conseqüentemente a indústria automotiva conseguiu uma pequena vantagem sobre o trabalho já feito pelas indústrias aéreas (BÉZIER, 1989). Bézier, chefe de departamento de design da Renault, percebeu que havia a necessidade da representação computacional de partes mecânicas. Tendo isso em vista Bézier utilizou superfícies paramétricas definidas, expressa por polinômios que exibiam características especiais, para desenvolver o que hoje é visto como o começo do CAD (KASPAR, 2009).

Pierre Bézier e Paul de Faget de Casteljaou foram os precursores do avanço do CAD na indústria automotiva. Bézier, com sua equipe da Renault criaram um sistema CAD chamado UNISURF (BÉZIER, 1983), que era baseado inteiramente nas curvas e superfícies descritas por Bézier. Isso influenciou o desenvolvimento de outro software chamado EVE, de uma companhia aeronáutica francesa chamada Dassault. Logo depois esse software evoluiu para o CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*) (FARIN, 1988) que é um dos softwares mais utilizados na indústria automotiva atualmente.

Paul de Casteljaou, um matemático que trabalhava para a Citroën, inventou uma solução paramétrica baseado nas propriedades das funções de Bernstein (CASTELJAU, 1963). Entretanto os resultados não foram publicados, por motivos de sigilo da empresa, isso limitou o desenvolvimento de um sistema que pudesse substituir os modelos até então utilizados, como a modelagem em *clay* e o desenho tradicional.

2.2 Curvas de Bézier

A curva de bézier baseia-se na interpolação linear sucessiva de uma ou mais retas, dependendo do grau do polinômio, sendo essas interpolações delimitadas pelos pontos de controle da curva. A curva de Bézier de grau n é representada por (BÉZIER; SIOSSIOU, 1983; BARRY; GOLDMAN, 1988; YAN; LIANG, 2011).

$$C(u) = \sum_{i=0}^n B_{i,n}(u)P_i, u \in [0, 1] \quad (2.1)$$

Onde B_i é o polinômio de Bernstein que representa a i -ésima função base de grau n e P_i são os pontos de controle da curva de Bézier (LIN; LIU; WANG, 2002), e o polinômio de Bernstein é dado pela seguinte fórmula:

$$B_{i,n}(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i} \quad (2.2)$$

Em que o parâmetro u varia entre 0 e 1. Quando o parâmetro $u = 0$, isso significa que é o primeiro ponto de controle P_0 e quando $u = 1$ determina que é o último ponto de controle. Usualmente, a curva de Bézier não passa entre os pontos de controle, com exceção do primeiro e do último (RAPHAEL; SMITH, 2003).

Curvas de Bézier de qualquer grau podem ser definidas. A Figura 2 mostra alguns exemplos de diferentes graus. Uma curva de Bézier de grau n tem $n + 1$ pontos de controle.

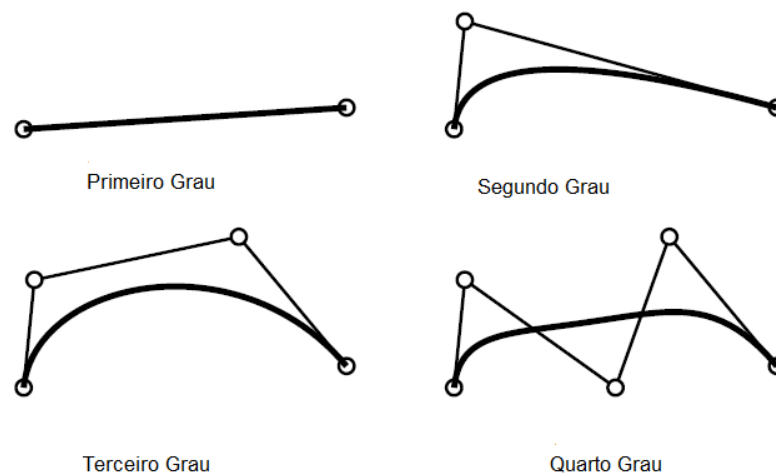


Figura 2 – Exemplos de curvas de Bézier para diferentes graus.
Fonte: (SEDERBERG, 2012)

2.2.1 Cúbica de Bézier e Superfícies

Uma curva de Bézier cúbica, é uma curva de grau 3 e pode ser determinada a partir da equação 2.3:

$$C(u) = \sum_{i=0}^3 B_{i,3}(u)P_i \quad (2.3)$$

Em que P_0 , P_1 , P_2 e P_3 são os pontos de controle e $B_{0,3}(u)$, $B_{1,3}(u)$, $B_{2,3}(u)$ e $B_{3,3}(u)$ são os polinômios de Bernstein, e podem ser definidos pela equação 2.2 como (KHAN, 2012):

$$B_{0,3}(u) = (1 - u)^3 \quad (2.4)$$

$$B_{1,3}(u) = 3u(1 - u)^2 \quad (2.5)$$

$$B_{2,3}(u) = 3t^2(1 - u) \quad (2.6)$$

$$B_{3,3}(u) = 3t^3 \quad (2.7)$$

A figura 3 mostra o comportamento de cada função:

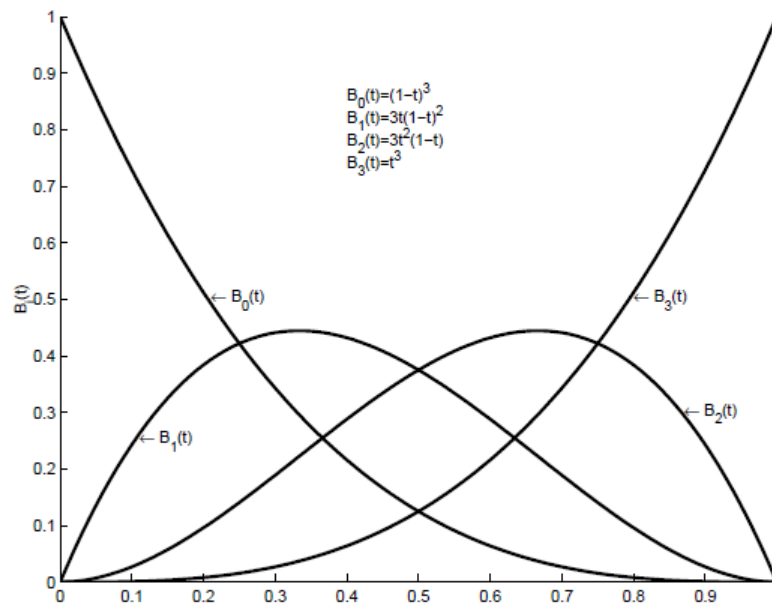


Figura 3 – Comportamento dos polinômios de Bernstein.

Fonte: (KHAN, 2012)

Ao combinar as duas equações podemos então chegar na formulação da equação cúbica de Bézier:

$$C(u) = (1 - u)^3 P_0 + 3u(1 - u)^2 P_1 + 3t^2(1 - u) P_2 + 3t^3 P_3 \quad (2.8)$$

P_0 e P_3 são chamados pontos de controle finais e P_1 e P_2 são chamados de pontos de controle médio e $C(u)$ é um ponto interpolado com valor t .

Uma superfície de Bézier é uma extensão de uma curva de Bézier em duas direções paramétricas, ou seja, um produto tensorial de duas curvas (ANDERSON, 2003), e é dada por:

$$C(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{i,j} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v) \quad (2.9)$$

Em que as direções paramétricas têm grau n e m respectivamente.

Se supormos uma curva de Bézier cúbica teremos a seguinte expressão:

$$C(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{i,j} B_{i,3}(u) B_{j,3}(v) \quad (2.10)$$

Quando expressa na forma de matriz, temos que o resultado é:

$$C(u, v) = [1 \ u \ u^2 \ u^3] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & P_{0,2} & P_{0,3} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,3} \\ P_{2,0} & P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,3} \\ P_{3,0} & P_{3,1} & P_{3,2} & P_{3,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 & -1 \\ 0 & 3 & -6 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ v \\ v^2 \\ v^3 \end{bmatrix}$$

Com isso temos uma matriz que descreve a equação para uma superfície cúbica de Bézier. A figura abaixo mostra uma das aplicações das equações para uma superfície de Bézier, e que se trata de uma chaleira construída através de 32 *patches* cúbicos de Bezier. Um *patche* cúbico de Bézier é construído através de uma matriz de pontos de controle de ordem 4, com $P_{i,j}$, $0 \leq i \leq 3$, $0 \leq j \leq 3$.

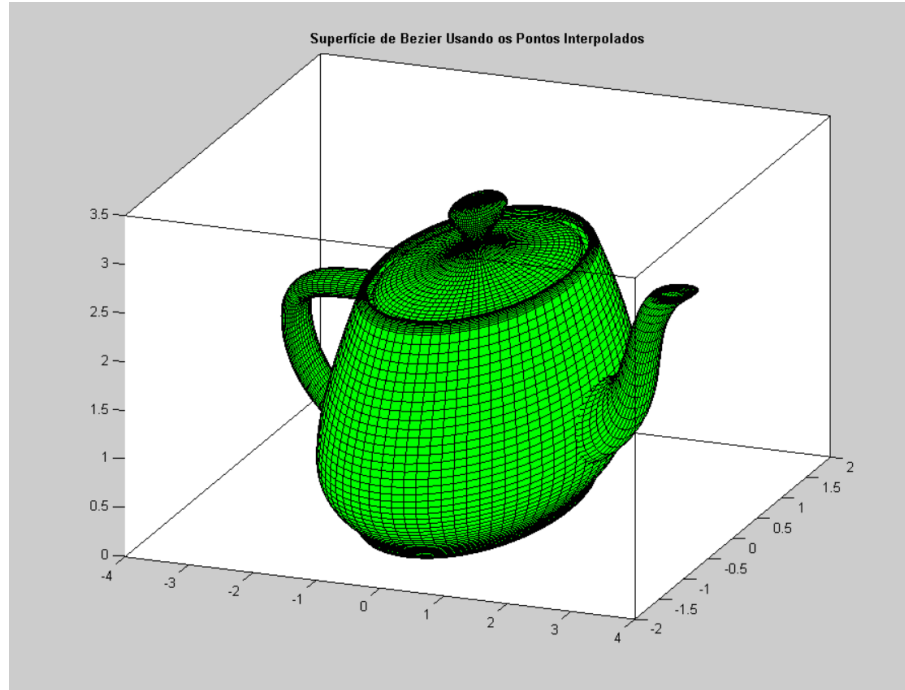


Figura 4 – Superfície Cúbica de Bézier.
Fonte: (KHAN, 2012)

Existem outras técnicas utilizadas na computação gráfica, como o uso do algoritmo de DeCasteljau, que não somente é utilizado para validar as curvas de Bézier mas também é usado para fazer subdivisões de uma dada curva (BARRY; GOLDMAN, 1988).

2.3 B-Spline

Algumas estruturas podem ser bem complicadas de se definir e representar através de apenas uma simples curva de Bézier e é aí que entram as curvas B-spline. Uma spline é uma sequência de segmentos de curva que são conectados para formar uma única e contínua curva (SEDERBERG, 2012). A letra B em B-spline significa *basis* ou base, e esta base é definida pela formulação de *Cox-de Boor* (SEDERBERG, 2012; BERTKA, 2008).

Uma B-spline de grau m pode ser expressa por:

$$W^m(u) = \sum_{i=0}^n B_{i,m}(u)P_i \quad (2.11)$$

Em que P é o ponto de controle, B é a função base, n o número de pontos de controle e m o grau da curva (ANDERSON, 2003; BERTKA, 2008).

A função base é descrita pela formulação de de *Cox-de Boor* e é dada por:

$$B_{i,n}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+n-1} - t_i} B_{i,n-1}(t) + \frac{t_{i+n} - t}{t_{i+n} - t_{i+1}} B_{i+1,n-1}(t) \quad (2.12)$$

Aonde t_i são os valores dos nós e seus respectivos índices, i são os pontos de controle a serem avaliados e n é o grau da curva. A formulação serve para computar as funções bases para qualquer curva B-spline, sendo ela uniforme ou não-uniforme.

Uma curva B-Spline de grau m com n consiste de $n - m$ segmentos de curvas de Bézier. Todos esses segmentos têm continuidade C^2 nos pontos de junção. Qualquer curva de Bézier de grau arbitrário pode ser convertida em uma B-spline e vice-versa (ANDERSON, 2003).

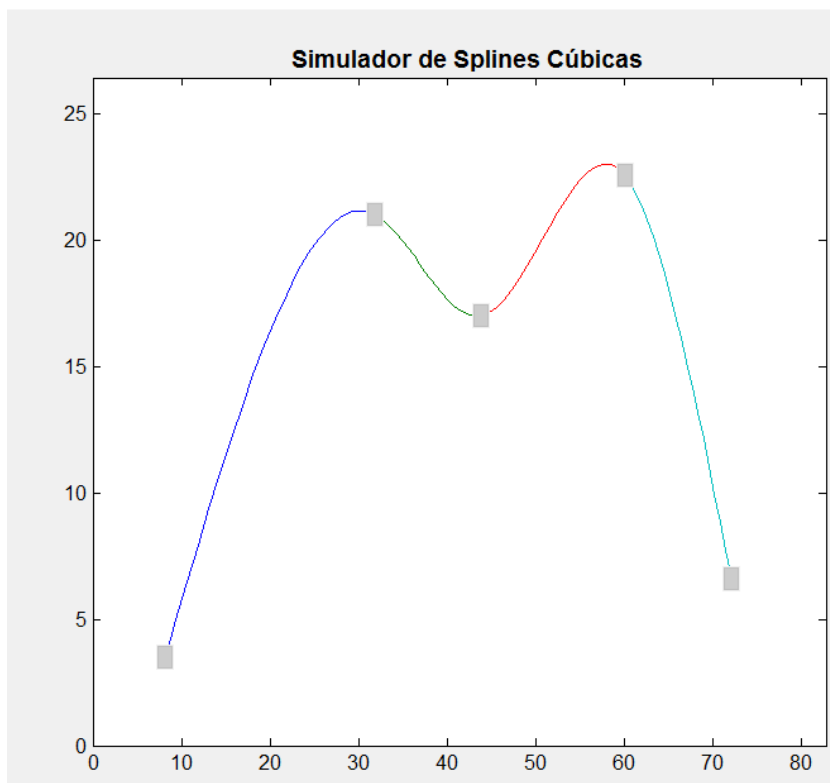


Figura 5 – Exemplo 1 de spline cúbica.

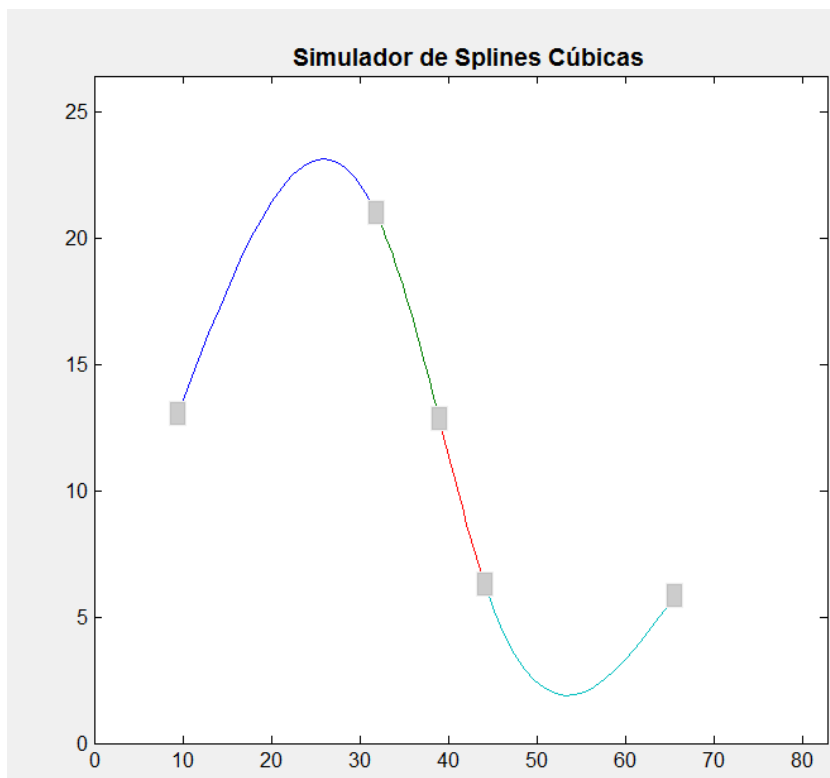


Figura 6 – Exemplo 2 de spline cúbica.

3 Modelador de Curvas e Superfícies de Deformação

3.1 Apresentação dos Modelos

Serão apresentados dois modelos para a deformação de regiões poligonais baseados em regras que determinam o comportamento dos demais vértices do polígono após o deslocamento sofrido por algum vértice.

3.1.1 Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia (MDPC)

O Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia (MDPC) está baseado na ideia de reação em cadeia entre os vértices, de modo que um deslocamento em um vértice do polígono causa uma translação nos dois vértices imediatamente adjacentes, e o deslocamento desses provoca outra translação nos dois vértices mais próximos, e assim por diante, até um limite estipulado. Desse modo, uma região poligonal (Figura 7a) sofre a alteração na posição de um de seus vértices (Figura 7b) e isso possui efeito nos demais vértices (Figura 7c).

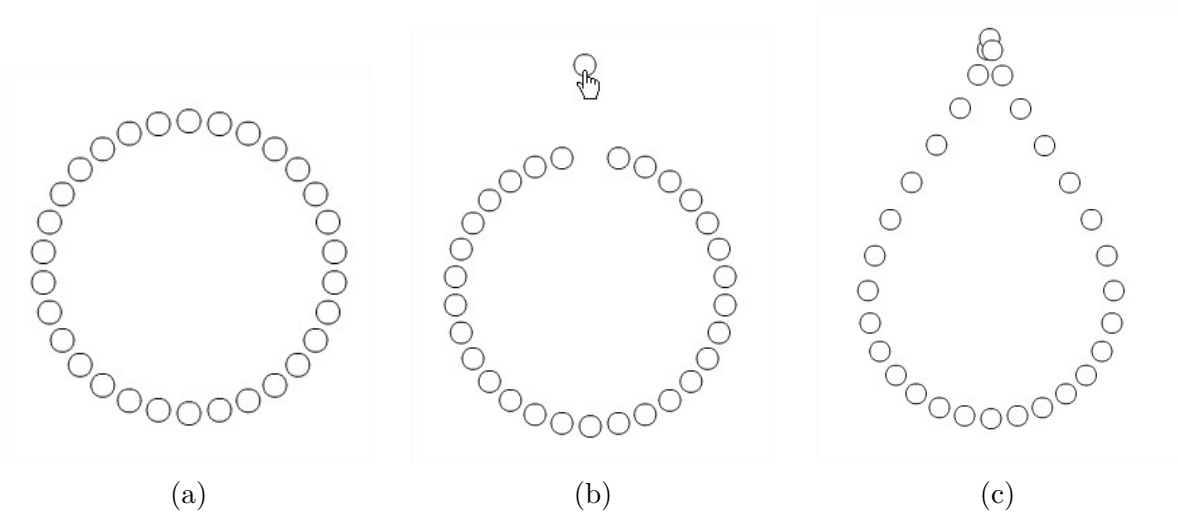


Figura 7 – Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia

Para cada cálculo de posição a ser realizado, há um vértice indutor (A) e um vértice induzido (B) (figura 2). Se um vértice indutor A de posição $x_{a0}\hat{i} + y_{a0}\hat{j}$ é deslocado para uma nova posição $x_{af}\hat{i} + y_{af}\hat{j}$, então a nova posição de B será dada por:

$$X_B = \Delta X_A P(i) \quad (3.1)$$

$$Y_B = \Delta Y_A P(i) \quad (3.2)$$

As variáveis ΔX_A e ΔY_A , são valores calculados utilizando a distância que vértice indutor está da origem e de sua nova posição, que determina uma proporção para o deslocamento de B , em que $P(i)$ é calculada da seguinte forma:

$$P(i) = P_0 e^{\frac{(-|\frac{i}{n}|)^{k_2}}{k_1}} \quad (3.3)$$

Em que P_0 determina a proporção do deslocamento do 1º par de vértices indutor-induzido, n é o número de vértices, i é o número de pontos que serão afetados e k_1 e k_2 são variáveis que influenciam no decaimento da proporção do par indutor-induzido.

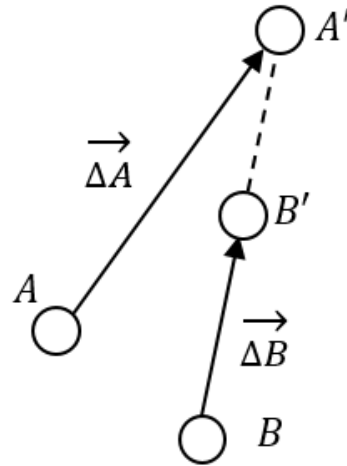


Figura 8 – Reposicionamento de um vértice B em reação a um deslocamento de um vértice indutor A .

Ao se aplicar uma deformação em um vértice $V1$ do polígono, os dois vértices imediatamente adjacentes, $V2$ e $V3$, se aproximam com uma proporção $P_{(1)}$. Com base no deslocamento de $V2$ e $V3$, os pontos $V4$ e $V5$ são deslocados na direção de $V2$ e $V3$ respectivamente, que serão aplicados aos demais pontos.

3.1.2 Modelo de Deformação Proporcional Induzido (MDPI)

No Modelo de Deformação Proporcional Induzido, os vértices induzidos se movem com uma proporção $P_{(i)}$ na mesma direção e sentido que o vértice indutor (9 e 10), diferente do MDPC em que os vértices se movem em direção ao vértice deslocado.

O deslocamento do vértice B é calculado da seguinte forma:

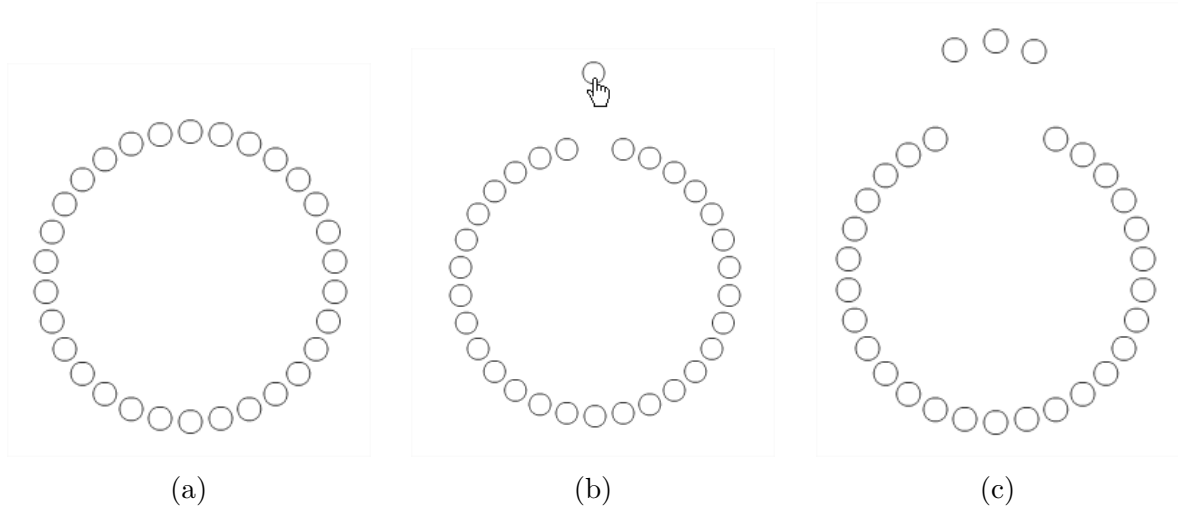


Figura 9 – Comportamento dos vértices no modelo de deformação proporcional induzido.

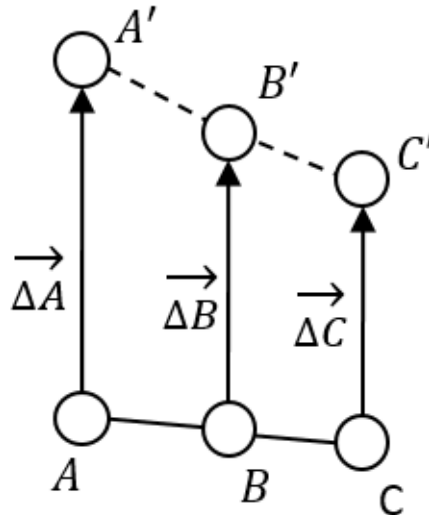


Figura 10 – Comportamento dos vértices no MDPI.

$$\vec{\Delta B} = P_{(i)} \vec{\Delta A} \tag{3.4}$$

Em que $P_{(i)}$ é uma proporção definida para que o vértice induzido se mova apenas na direção em que o vértice indutor foi deslocado e não ultrapasse o vértice inicialmente deslocado.

A circunferência utilizada no programa é feita a partir de pontos, espaçados uniformemente em forma de círculo, e de um ponto para o outro é conectado por um segmento de reta, a utilização de pontos na construção da circunferência ou qualquer outro tipo de polígono é crucial, pois, quando a deformação é feita pelo usuário ele irá escolher o ponto onde a deformação é mais aparente.

4 Resultados Parciais

Para avaliar o comportamento do modelo, para diferentes situações foi desenvolvido um simulador teste na plataforma *Adobe Flash CS4* com programação em *ActionScript 2.0*. Para teste dos dois modelos apresentados, foram simuladas deformações em um polígono regular com 500 pontos em analogia a uma circunferência. Os resultados principais estão sintetizados a seguir.

4.1 Modelo de Deformação Proporcional em Cadeia (MDPC)

No MDPC, as simulações realizadas foram no sentido de verificar o efeito das variáveis que determinam o decaimento da proporcionalidade (eq.3) entre os deslocamentos dos pares de vértices indutor-induzido. Desse modo, a região original foi deformada em três momentos para cada combinação de k_1 e k_2 (Figuras 11, 12, 13 e 14).

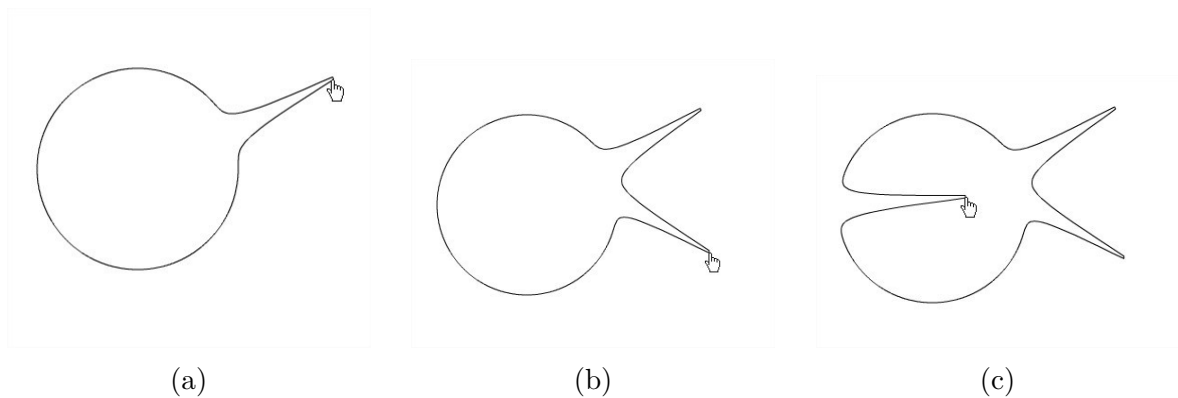


Figura 11 – MDPC ($k_1 = 0.01, k_2 = 1.2$).

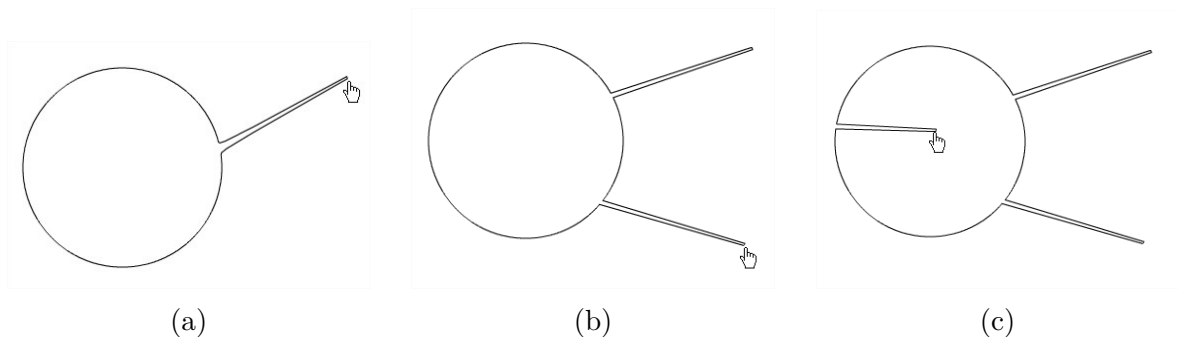


Figura 12 – MDPC ($k_1 = 0.001, k_2 = 1.2$).

Com base nas Figuras 11, 12, 13 e 14 é possível perceber que a constante k_1 está ligada ao afunilamento na deformação, que se inicia no par de vértices indutor-induzido,

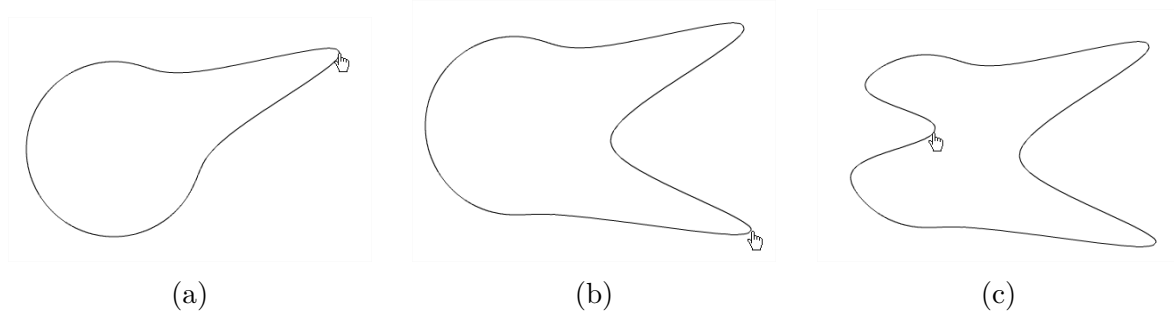
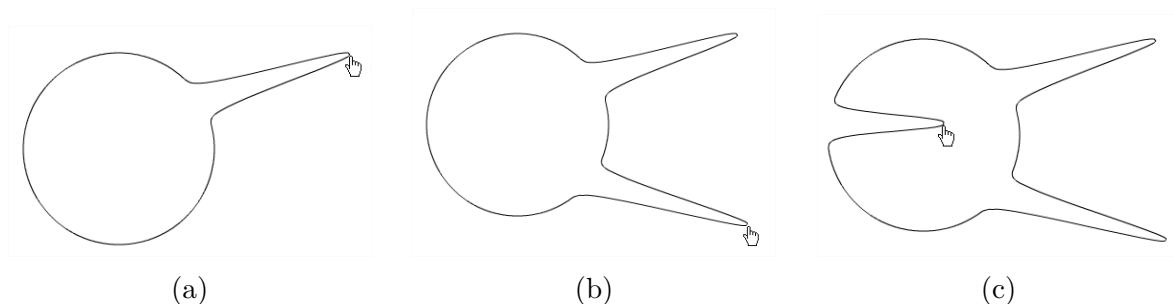
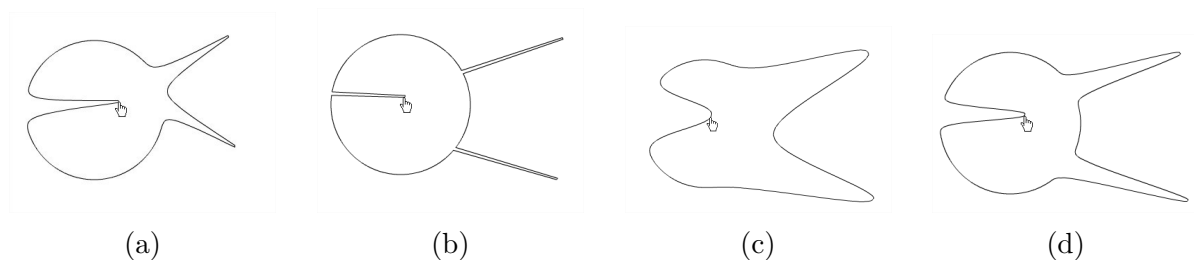
Figura 13 – MDPC ($k_1 = 0.01, k_2 = 2$).Figura 14 – MDPC ($k_1 = 0.001, k_2 = 2$).

Figura 15 – Comparativo dos resultados do MDPC com diferentes atributos e mesma deformação.

fazendo com que os vértices adjacentes ao que foi deslocado fiquem mais próximos ou mais distantes uns dos outros.

4.2 Modelo de Deformação Proporcional Induzido (MDPI)

O desenvolvimento do segundo modelo nos apresenta um tipo de deformação mais suave que o anterior, aumentando a componente k_2 e aplicando a proporção (eq.4), a suavidade se torna mais aparente, pois distância dos vértices de ambos os lados ao vértice deslocado é suficientemente grande para que dê o aspecto de suavidade.

Nas Figuras 16, 17, 18 e 19 o efeito da constante k_2 é mais facilmente visualizada e está relacionada com a suavidade da deformação. No MDPI os vértices que não foram movidos e que ainda estão de acordo com o formato anterior do polígono, se movam na mesma direção do vértice inicialmente deslocado com uma proporção antes definida.

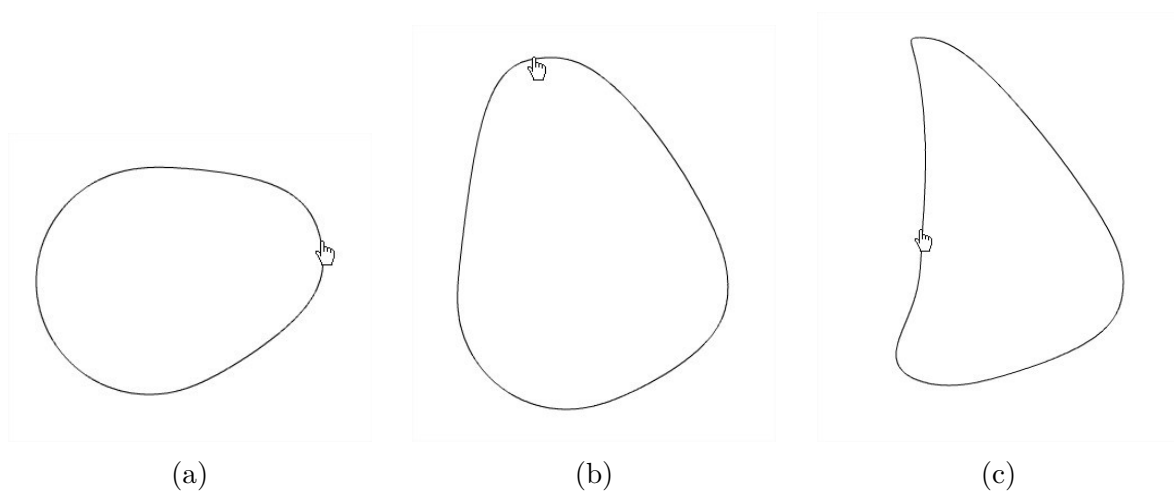


Figura 16 – MDPI ($k_1 = 0.01, k_2 = 3.2$).

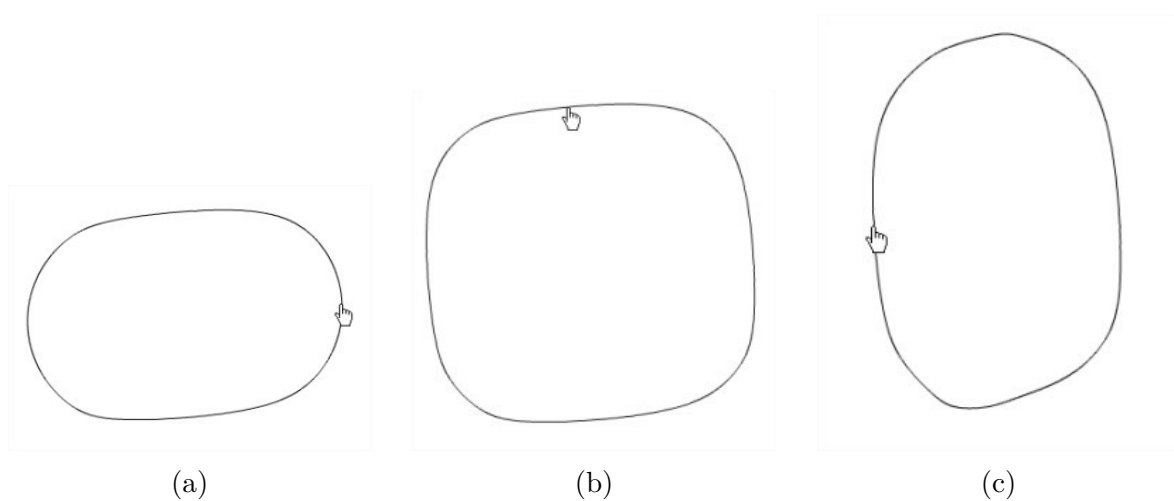


Figura 17 – MDPI ($k_1 = 0.001, k_2 = 1.2$).

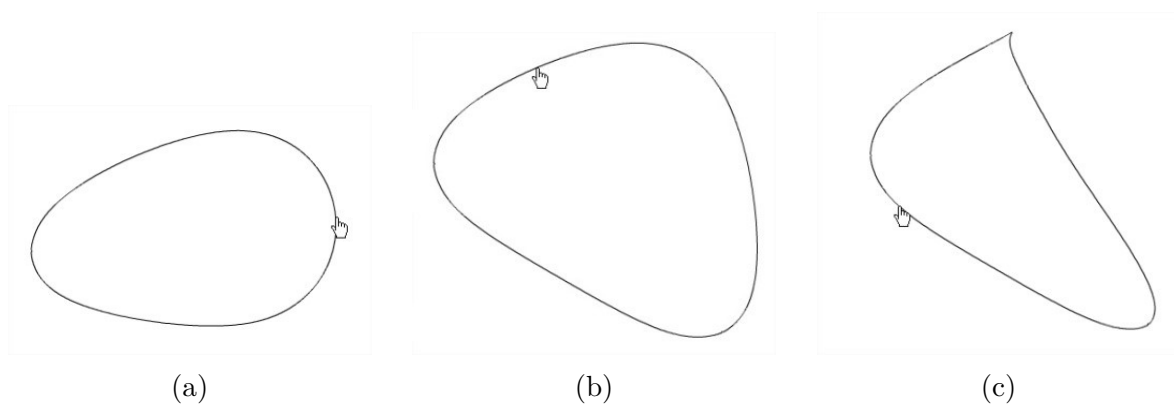


Figura 18 – MDPI ($k_1 = 0.01, k_2 = 2$).

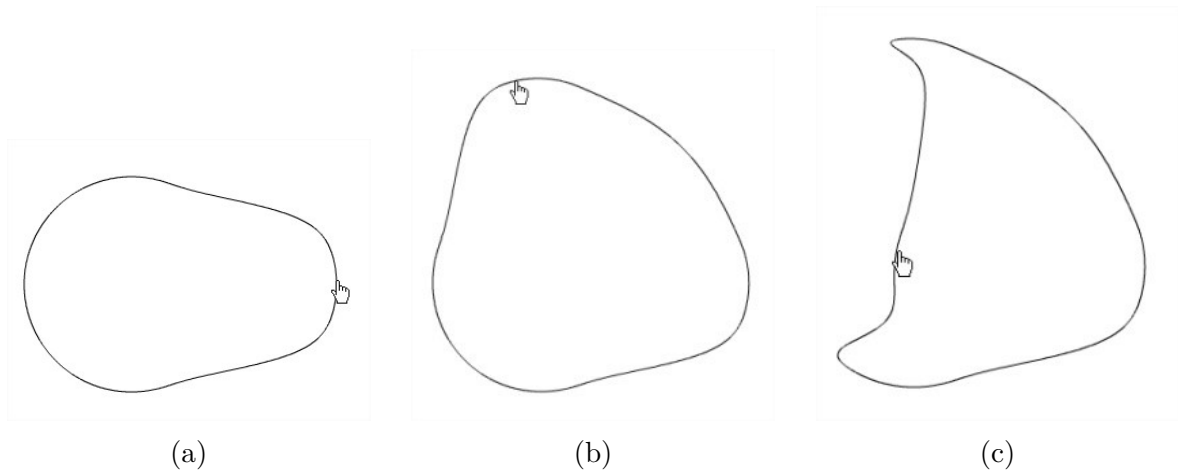


Figura 19 – MDPI ($k_1 = 0.001, k_2 = 2$).

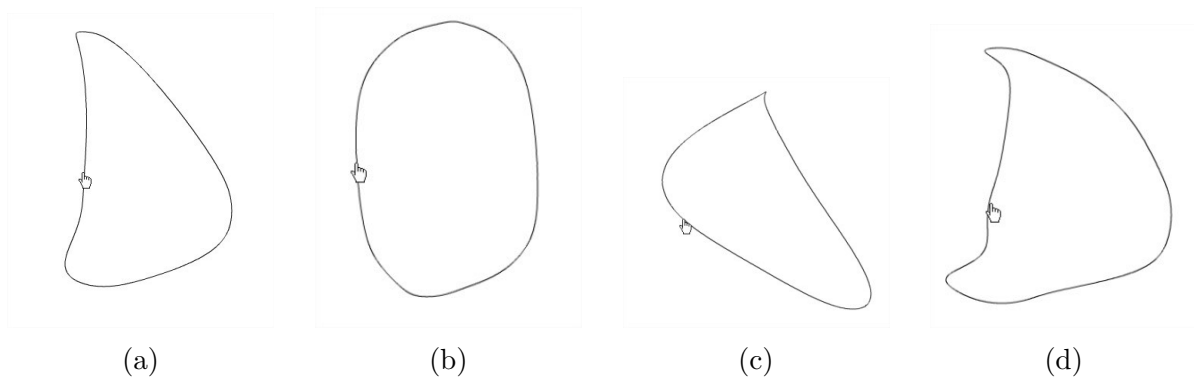


Figura 20 – Comparativo dos resultados do MDPI com diferentes atributos e mesma deformação.

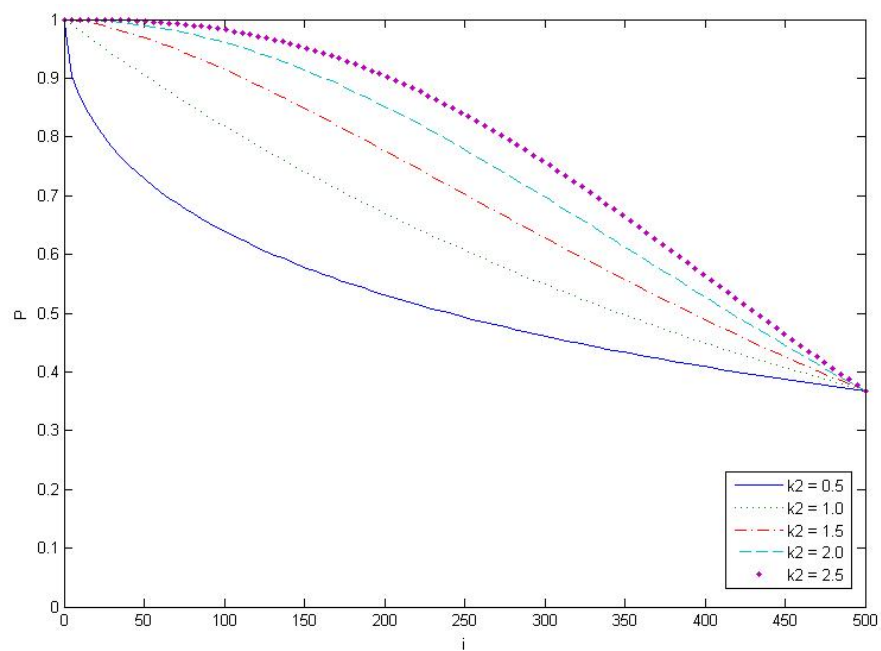


Figura 21 – Comportamento de $P(i)$ em relação a i para $k_1 = 1$ e k_2 de 0.5 à 2.5.

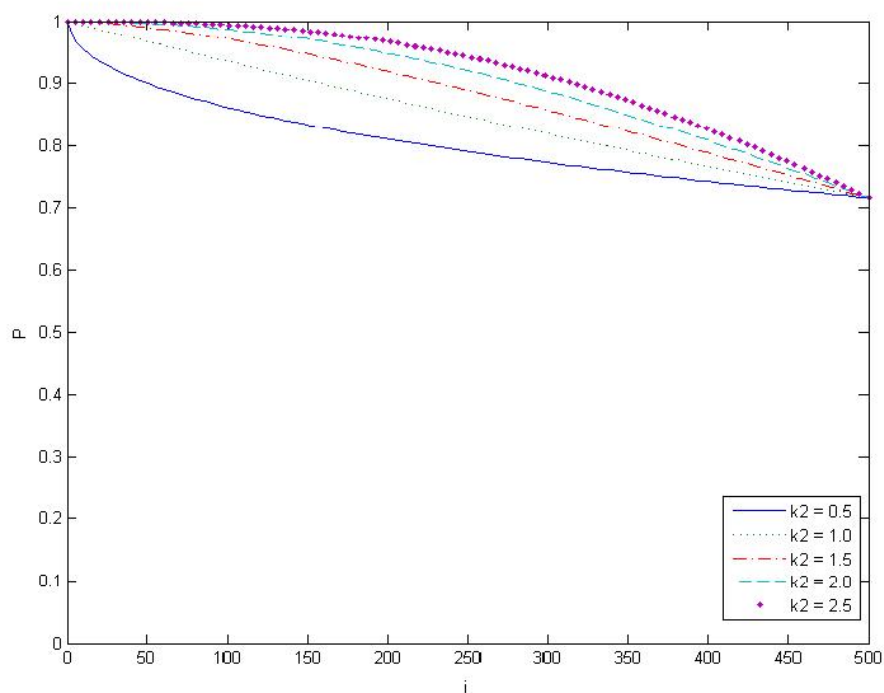


Figura 22 – Comportamento de $P(i)$ em relação a i para $k_1 = 3$ e k_2 de 0.5 à 2.5.

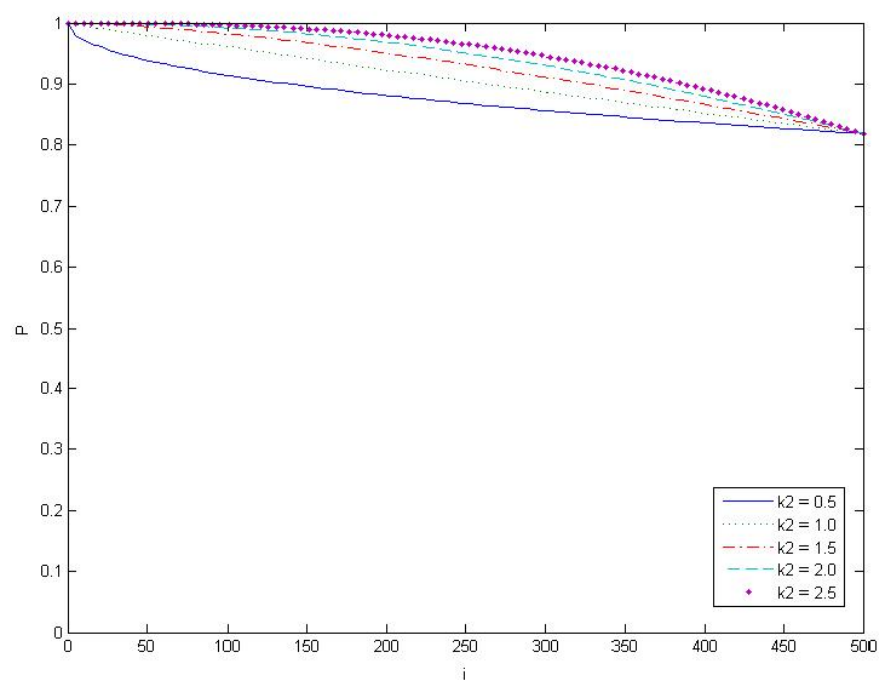


Figura 23 – Comportamento de $P(i)$ em relação a i para $k_1 = 5$ e k_2 de 0.5 à 2.5.

As Figuras 21, 22 e 23 mostram o comportamento da função com diferentes valores de k_1 e k_2 , nos gráficos é melhor mostrado que a constante k_1 está relacionada com a disposição entre os pontos na deformação e a constante k_2 torna-se mais aparente quando o seu valor é elevado.

4.2.1 Trabalhos Futuros

No desenvolvimento do TCC 2, será desenvolvido um simulador que consiga gerar mais de um objeto deformável, com o objetivo final de desenvolver o design de um automóvel ou um objeto composto qualquer. As etapas e o cronograma são apresentados a seguir.

Etapa 1 - Desenvolver algoritimo para a construção do novo simulador.

Etapa 2 - Criar testes de usabilidade para o simulador.

Etapa 3 - Avaliar os resultados obtidos através dos testes.

Etapa 3 - Escrita do TCC 2 e revisão do Texto.

Tabela 2 – Cronograma de trabalho para o TCC2

Etapas	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5
1	x	x			
2		x	x	x	
3				x	
4					x

Referências

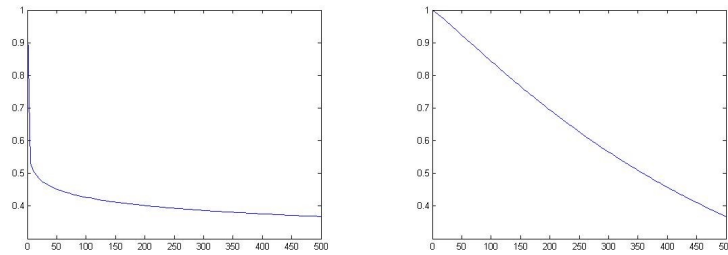
- ANDERSON, F. Bézier and b-spline technology. 2003. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.
- BARRY, P. J.; GOLDMAN, R. N. De casteljau-type subdivisionis peculiar to bezier curves. *Butterworth & Co (Publishers) Ltd*, v. 20, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 21.
- BERTKA, B. An introduction to bezier curves, b-splines, and tensor product surfaces with history and applications. *University of California Santa Cruz*, 2008. Citado na página 21.
- BÉZIER, P. First steps of cad. v. 21, n. 5, 1989. Citado na página 17.
- BÉZIER, P.; SIOSSIOU, S. Semi-automatic system for defining free-form curves and surfaces. *Butterworth & Co (Publishers) Ltd*, 1983. Citado na página 18.
- BÉZIER, P. E. Unisurf, from styling to tool-shop. *Computers in Industry*, Elsevier, v. 4, n. 2, p. 115–126, 1983. Citado na página 17.
- CASTELJAU, P. Courbes et surfaces à pôles. *Technical Report*, 1963. Citado na página 17.
- CINTI, F. Shiro nakamura, culture and modernity in nissan design. *AUTO AND DESIGN*, AUTO & DESIGN ADVERTISING, p. 73–75, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- COONS, S. Graphical and analytical methods as applied to aircraft design. *Journal of engineering education*, v. 21, p. 295–306, 1985. Citado na página 17.
- FARIN, G. A history of curves and surfaces in cagd. *Computer Science and Engineering*, 1988. Citado na página 17.
- FIGUEIREDO, L. H.; CARVALHO, P. C. Introdução à geometria computacional. *18º colóquio brasileiro de matemática*, 1991. Citado na página 12.
- FILHO, R. J. L. C. construção de um modelador de curvas e superfícies de bézier. 2007. Citado na página 12.
- HECKLER, V.; FÁTIMA, M. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, 2007. Citado na página 12.
- KASPAR, C. Using bézier curves for geométric transformations. *MSM Creative*, 2009. Citado na página 17.
- KHAN, M. Cubic bézier curve and surface. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 21.
- LIMING, R. A. *Practical analytical geometry with applications to aircraft*. [S.l.]: The Macmillan Company, 1944. Citado na página 16.

- LIN, H.; LIU, L.; WANG, G. Boundary evaluation for interval bézier curve. *Computer-Aided Design*, v. 34, p. 637–646, 2002. Citado na página 18.
- MADSEN, D. *Engineering drawing and design*. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. Citado na página 16.
- MATTISON, D. Superior, efficient, and complete automotive concept design. *Automotive Solutions*, 2006. Citado na página 12.
- MOTHÉ, E. Manipulação direta de curvas. *Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro*, 2006. Citado na página 12.
- RAPHAEL, B.; SMITH, I. F. C. *Fundamentals of Computer-Aided Engineering*. [S.l.]: Willey, 2003. Citado na página 18.
- SEDERBERG, T. W. Computer aided geometric design. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 21.
- SEDERBERG, T. W.; PARRY, S. R. Free-form deformation of solid geometric models. In: ACM. *ACM SIGGRAPH computer graphics*. [S.l.], 1986. v. 20, n. 4, p. 151–160. Citado na página 12.
- YAN, L.; LIANG, J. An extension of the bézier model. *Applied Mathematics and Computation*, v. 218, p. 2865–2879, 2011. Citado na página 18.

Anexos

ANEXO A – Imagens

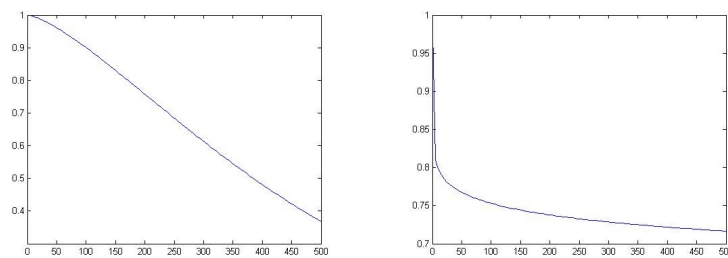
As figuras abaixo mostram em mais detalhes o comportamento da função $P_{(i)}$ para os dois modelos.



(a) $k_1 = 1$ e $k_2 = 0.1$

(b) $k_1 = 1$ e $k_2 = 1.1$

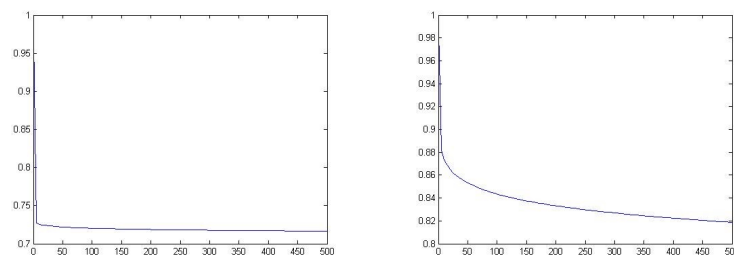
Figura 24 – Comportamento de P em relação a i .



(a) $k_1 = 1$ e $k_2 = 1.4$

(b) $k_1 = 3$ e $k_2 = 0.1$

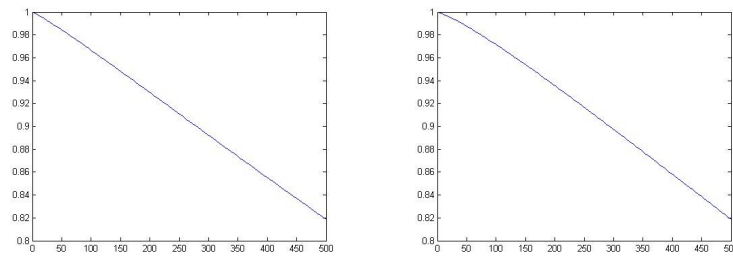
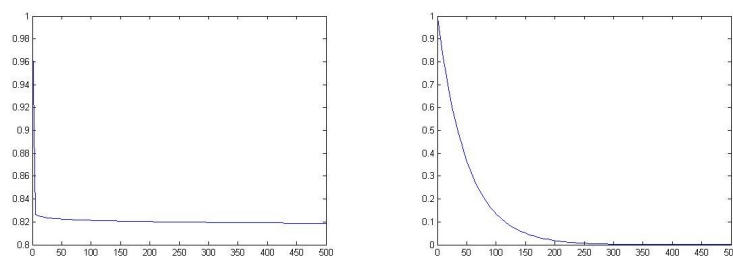
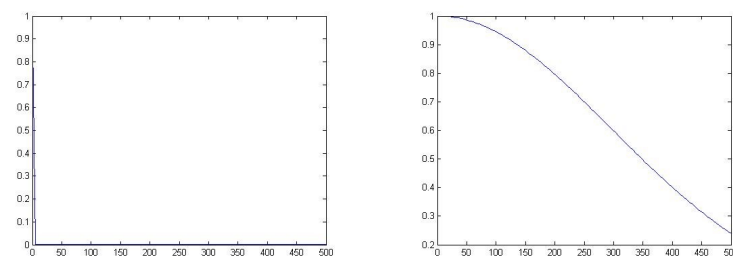
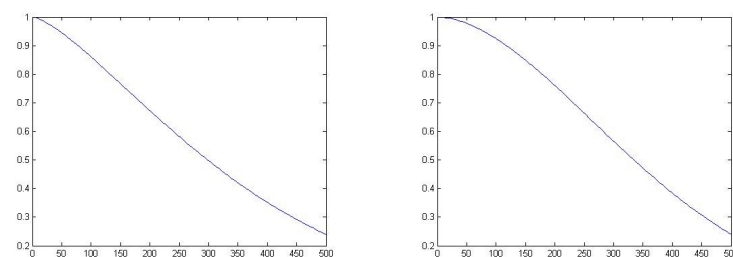
Figura 25 – Comportamento de P em relação a i .

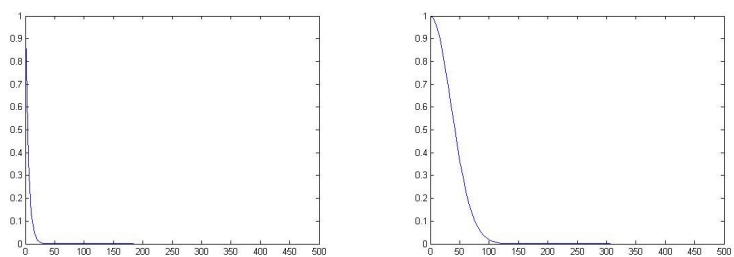


(a) $k_1 = 3$ e $k_2 = 0.01$

(b) $k_1 = 5$ e $k_2 = 0.1$

Figura 26 – Comportamento de P em relação a i .

(a) $k_1 = 5$ e $k_2 = 1.1$ (b) $k_1 = 5$ e $k_2 = 1.2$ Figura 27 – Comportamento de P em relação a i .(a) $k_1 = 5$ e $k_2 = 0.01$ (b) $k_1 = 0.1$ e $k_2 = 2.1$ Figura 28 – Comportamento de P em relação a i .(a) $k_1 = 0.1$ e $k_2 = 0.1$ (b) $k_1 = 0.7$ e $k_2 = 2.2$ Figura 29 – Comportamento de P em relação a i .(a) $k_1 = 0.7$ e $k_2 = 1.4$ (b) $k_1 = 0.7$ e $k_2 = 1.8$ Figura 30 – Comportamento de P em relação a i .



(a) $k_1 = 0.01$ e $k_2 = 2.1$

(b) $k_1 = 0.01$ e $k_2 = 2.2$

Figura 31 – Comportamento de P em relação a i .

ANEXO B – Código do Simulador

```

//-----
//Symbol 2 Button
//-----
on (press) {
    startDrag (this);
    x0 = this._x;
    y0 = this._y;
}
on (release , releaseOutside) {
    _root.deforma(this , Number(_parent.vk1),
    Number(_parent.vk2), x0, y0, "ponto_");
    stopDrag ();
    _root.desenha ("ponto_");
}
//-----
//Symbol 5 Button
//-----
on (release) {
    CENTROX = 300;
    CENTROY = 200;
    r = ent_c;
    n_pontos = ent_d;
    dang = (Math.PI*2) / n_pontos;
    a = dang;
    a2 = dang / 2;
    r2 = r / Math.cos(dang / 2);
    i = 1;
    while (i <= n_pontos) {
        nome = "ponto_" + i;
        attachMovie ("ponto", nome, i);
        _root[nome].btn_p = i;
        _root[nome]._x = CENTROX +
        (r2 * Math.cos(a2 + (i * dang)));
        _root[nome]._y = CENTROY +

```



```

        (r2 * Math.sin(a2 + (i * dang)));
        _root[nome].q_ponto = i;
        i++;
    }
    desenha("ponto_");
}
//-----
//Frame 1
//-----
function desenha(nomeBase) {
    Pontos = new Array();
    n_pontos = Number(_root.n_pontos);
    i = 1;
    while (i <= n_pontos) {
        Pontos.push([_root[nomeBase + i]._x,
            -_root[nomeBase + i]._y]);
        i++;
    }
    grafico.clear();
    grafico.lineStyle(1, 0, 100);
    grafico.moveTo(Pontos[0][0], -Pontos[0][1]);
    i = 1;
    while (i < n_pontos) {
        grafico.lineTo(Pontos[i][0], -Pontos[i][1]);
        i++;
    }
    grafico.lineTo(Pontos[0][0], -Pontos[0][1]);
}
function deforma(objeto, k1, k2, x0, y0, nomeBase) {
    p0 = 1;
    n = objeto.q_ponto;
    newpontos = Number(_root.n_pontos);
    n_pontos_afetados = Math.round(newpontos / 2);
    n_faixa = n_pontos_afetados;
    x1 = objeto._x;
    y1 = objeto._y;
    pt_aft = 0;
    x00 = x0;
    y00 = y0;

```

```

ddx = x1 - x00;
ddy = y1 - y00;
dd = Math.sqrt(Math.pow(ddx, 2) + Math.pow(ddy, 2));
i = 0;
while (i < n_faixa) {
    pt_aft = ((n + i) % newpontos) + 1;
    nome = nomeBase + pt_aft;
    p = p0 * Math.exp((-Math.pow(i / n_faixa, k2)) / k1);
    _root[nome]._x = _root[nome]._x + (ddx * p);
    _root[nome]._y = _root[nome]._y + (ddy * p);
    i++;
}
x1 = objeto._x;
y1 = objeto._y;
d = Math.sqrt(Math.pow(x1 - x00, 2) + Math.pow(y1 - y00, 2));
i = 0;
while (i > (-n_faixa)) {
    pt_aft = (((n + i) - 1) + newpontos) % newpontos;
    if (pt_aft == 0) {
        nome = nomeBase + newpontos;
    } else {
        nome = nomeBase + pt_aft;
    }
    p = p0 * Math.exp((-Math.pow(Math.abs(i / n_faixa), k2)) / k1);
    _root[nome]._x = _root[nome]._x + (ddx * p);
    _root[nome]._y = _root[nome]._y + (ddy * p);
    i--;
}
x1 = objeto._x;
y1 = objeto._y;
d = Math.sqrt(Math.pow(x1 - x00, 2)
+ Math.pow(y1 - y00, 2));
}
function deforma2(objeto, k1, k2, x0, y0, nomeBase) {
    p0 = 1;
    n = objeto.q_ponto;
    newpontos = Number(_root.n_pontos);
    n_pontos_afetados = Math.round(newpontos / 2);
    n_faixa = n_pontos_afetados;

```

```

x1 = objeto._x;
y1 = objeto._y;
pt_aft = 0;
x00 = x0;
y00 = y0;
ddx = x1 - x00;
ddy = y1 - y00;
dd = Math.sqrt(Math.pow(ddx, 2) + Math.pow(ddy, 2));
i = 0;
while (i < n_faixa) {
    pt_aft = ((n + i) % newpontos) + 1;
    nome = nomeBase + pt_aft;
    p = p0 * Math.exp((-Math.pow(i / n_faixa, k2)) / k1);
    _root[nome]._x = _root[nome]._x + (ddx * p);
    _root[nome]._y = _root[nome]._y + (ddy * p);
    i++;
}
x1 = objeto._x;
y1 = objeto._y;
d = Math.sqrt(Math.pow(x1 - x00, 2)
+ Math.pow(y1 - y00, 2));
i = 0;
while (i > (-n_faixa)) {
    pt_aft = (((n + i) - 1) + newpontos) % newpontos;
    if (pt_aft == 0) {
        nome = nomeBase + newpontos;
    } else {
        nome = nomeBase + pt_aft;
    }
}
p = p0 * Math.exp((-Math.pow(Math.abs(i / n_faixa), k2)) / k1);
_root[nome]._x = _root[nome]._x + (ddx * p);
_root[nome]._y = _root[nome]._y + (ddy * p);
i--;
}
x1 = objeto._x;
y1 = objeto._y;
d = Math.sqrt(Math.pow(x1 - x00, 2) +
Math.pow(y1 - y00, 2));
}

```

```
function previsao(objeto , x0, y0) {
    deforma(this , Number(_parent.vk1),
    Number(_parent.vk2), x0, y0, "ponto_");
}
CENTROX = 300;
CENTROY = -200;
r = ent_c;
n_pontos = ent_d;
dang = (Math.PI*2) / n_pontos;
a = dang;
a2 = dang / 2;
r2 = r / Math.cos(dang / 2);
removeMovieClip( grafico );
createEmptyMovieClip(" grafico ", 0);
```