

## MODELO GENERATIVO USANDO ANALOGIA BIOLÓGICA APLICADO AO USO E MANUTENÇÃO DE SIMILARIDADE FORMAL ESTILÍSTICA

### *GENERATIVE MODEL USING BIOLOGICAL ANALOGY APPLIED TO THE USE AND MAINTENANCE OF FORMAL STYLISTIC SIMILARITY*

Fábio Gonçalves Teixeira<sup>1</sup>

Tânia Inês Sulzbacher<sup>2</sup>

#### Resumo

Em projetos de desenvolvimento de produtos, além do equacionamento de fatores que atendam os requisitos funcionais, eventualmente também se faz necessária a manutenção da similaridade morfológica. Isto se deve à natureza do projeto, pois pode estar subordinado às características estético-formais de uma família de produtos por se constituir de um novo membro ou uma evolução de uma versão anterior. Este trabalho apresenta uma abordagem de geração de alternativas baseada no princípio da hereditariedade da genética natural, onde sucessivas gerações mantêm semelhanças de fenótipo em razão da transferência de instruções em forma de código, o genótipo. Assim, o modelo generativo aqui proposto vincula os padrões da construção geométrica da morfologia dos elementos da família de produtos aos elementos e estruturas da genética, permitindo que os mesmos sejam tratados como unidades cromossômicas passíveis de manipulação por algoritmos genéticos e sujeitos aos princípios das combinações e mutações de maneira análoga ao contexto biológico.

**Palavras-chave:** processo de design; geração de alternativas; família de produtos.

#### Abstract

In product development projects, besides the equation of factors that meet the functional requirements, it is also necessary to maintain the morphological similarity. This is due to the nature of the project, as it may be subordinated to the aesthetic-formal characteristics of a product family because it is a new member or an evolution from an earlier version. This work presents an alternative generation approach based on the principle of heredity of natural genetics, where successive generations maintain phenotype similarities due to the transfer of instructions in code form, the genotype. Thus, the generative model proposed here links the patterns of geometric construction of the morphology of the elements of the product family to the elements and structures of genetics, allowing them to be treated as chromosomal units susceptible of manipulation by genetic algorithms and subject to the principles of combinations and mutations analogous to the biological context.

**Keywords:** design process; concept generation; product families.

---

<sup>1</sup> Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, fabiogt@ufrgs.br

<sup>2</sup> Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, tania.sulzbacher@gmail.com

## 1. Introdução

A composição estético-formal de uma família de produtos está relacionada aos aspectos de similaridade formal entre os membros do conjunto. A manutenção destas características formais são aplicadas durante o processo de projeto, envolvendo técnicas de derivação baseadas em operações de transformação isométricas, paramétricas e topológicas (BONSIEPE, 1975; STINY, 1980; MITCHEL, 1992; CHA e GERO, 2006).

A composição estético-formal de uma família de produtos pode ser obtida de maneira sistemática através do uso do modelo de produção que combina uma plataforma de produtos com diferentes componentes (ECHEVESTE e FETTERMANN, 2011) variando suas composições através dos princípios da modularidade (PAHL e BEITZ, 1996; PINE, 1993). Ou ainda, através do recurso denominado gramática da forma, onde um vocabulário inicial origina diferentes tipos de composição orientados por regras formais (STINY, 1980); (MITCHEL, 1992); (CHA e GERO, 2006). Associados à modelagem paramétrica realizada em ambiente virtual, e submetidas aos recursos dos algoritmos genéticos que implementam o raciocínio da evolução das espécies através da busca dos mais aptos a cada geração, se torna possível gerar e avaliar uma maior número de possibilidades de solução formal, ampliando a oferta de soluções viáveis no processo de desenvolvimento de produtos (TEIXEIRA, 2016). Neste contexto, o presente trabalho apresenta um modelo generativo que permite desenvolver uma estrutura de dados que transpõe a linguagem geométrica euclidiana de composição formal para a linguagem computacional, possibilitando-se assim a manipulação da composição das variações formais e posterior avaliação do grau de similaridade de maneira automatizada.

O mecanismo descrito neste trabalho se delimita à famílias de produtos constituídas a partir de formas cilíndricas isométricas geradas por revolução; e que usam a geometria do aspecto estético-formal como referencial semântico de unidade para composição da percepção de família. Tais composições são encontradas em objetos do cotidiano como: louças, taças, garrafas; em embalagens de consumo como: laticínios, geleias e condimentos, produtos de higiene e limpeza; e aplicadas a bens de consumo como: eletrônicos, lâmpadas, etc. Eventualmente, o corpo do objeto gerado por revolução possui componentes acessórios de acordo com seus requisitos funcionais, como: pegas, vertedores, tampas, entre outros. A Figura 1 apresenta o exemplo de membros de uma família de produtos e suas respectivas sequências de arcos tangentes que definem as geratrizes das superfícies e determinam a sua unidade formal e consequente abordagem de estilo.

**Figura 1: Unidade Formal em Família de Produtos**



Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

O estilo é definido por Baxter (1994), como “qualidade de um produto que provoca a

sua atração visual [...] e que é uma parte tão importante quanto os aspectos funcionais”. Lobach (2001) traduz o estilo como a função estética de um produto, sendo este um fator de decisão de compra quando as funções práticas entre os produtos concorrentes são similares. De acordo com Elgard e Miller (1998), para gerar a variedade e evolução de uma família de produtos, a indústria busca planejar como esta variedade será tratada pela gestão da produção, pois a variedade pode ser útil e valiosa do ponto de vista mercadológico, mas internamente, se não bem planejada, significa alto custo pois normalmente reduz a uniformização através de uma gama de produtos. Além disto, há a preocupação com a aderência visual do(s) novo(s) membro(s) em relação ao grupo, denominada gestão de coerência estilística que é uma das questões críticas em design de produto. As dificuldades surgem pela necessidade de manter a imagem de marca, introduzindo novos recursos de design para os produtos, pois caso o novo estilo do produto for modificado radicalmente, então ele pode não ser consistente com a imagem de marca perante a percepção dos consumidores (ELGARD e MILLER, 1998).

Baxter (1998), diz que o estilo deve ser direcionado para oportunidades e isto significa que há certas restrições, exatamente como acontece em outras fases do desenvolvimento do produto, sendo que os fatores condicionantes do estilo referem-se ao cenário comercial onde os produtos serão introduzidos e podem ser classificados como: evolução de um produto já existente onde é importante preservar a identidade visual do produto anterior preservando-se assim os aspectos do estilo com o intuito de favorecer o reconhecimento por parte do consumidor; introdução de um novo produto em que identidade visual atribuída à marca seja preservada também fornece segurança aos consumidores. Se o consumidor já comprou produtos com esta marca da empresa, a identificação do novo produto com aderência formal aos demais itens da marca também podem atrair a sua confiança e conseqüente escolha.

Em alguns casos, o elemento estético-formal de um produto é reconhecido como sinônimo de uma determinada marca. A Coca-Cola mantém uma identidade visual formal para a embalagem de seu produto (Figura 2), que ao longo do tempo foi mantida pois transformou-se em dos valores de marketing da empresa, contribuindo para a construção e fortalecimento de sua marca (KOTLER, 2008).

**Figura 2: Evolução Morfológica da Coca-Cola®**



Fonte: – Elaborado por Tânia Sulzbacher

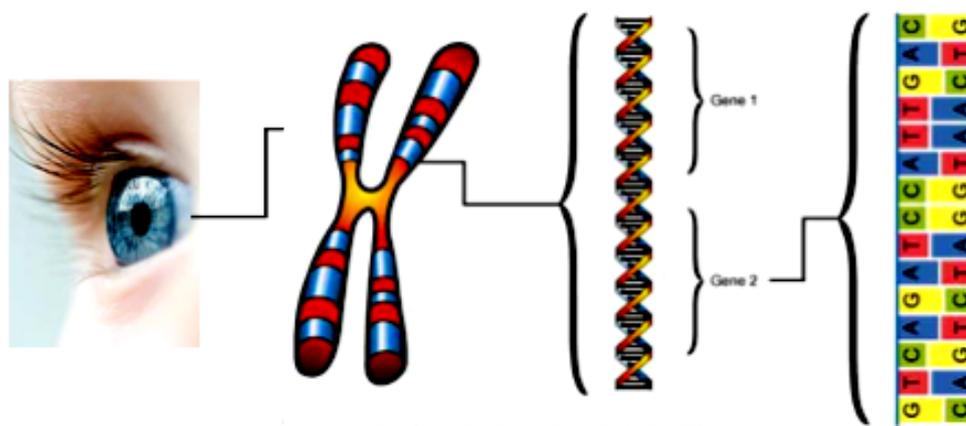
Conforme o exemplo anterior a coerência estilística pode continuar a desenvolver-se em um processo evolutivo e, portanto, ser o principal elemento reconhecível por várias gerações de produtos subsequentes. Para gerir a coerência formal entre os membros de uma família de produtos, este trabalho propõe a elaboração de um mecanismo baseado em um

princípio natural que permite a derivação de uma forma seminal para os demais membros do conjunto, com a finalidade de relacionar as regras de composição de formas com características estético-formais similares, através dos princípios naturais de hereditariedade e evolução. Nachtigall (2010), diz que a transposição das operações e dos fenômenos naturais para as áreas de Engenharia, Arquitetura e Design, podem ocorrer através da abordagem denominada Analogia Biológica, cujas as etapas se dividem em: Investigação, Abstração e Implementação, sendo a identificação dos princípios de um determinado fenômeno natural; a transcrição destes princípios e sua aplicação em contexto de projeto, respectivamente.

## 2. Gestão da Coerência Formal através dos Conceitos de Hereditariedade

Inicialmente foi investigado o fenômeno natural denominado hereditariedade, que representa a condição de semelhança existente entre ascendentes e descendentes, através de uma contínua transferência de instruções em forma de código denominada de genótipo, que estão inscritas no material genético e orientam a formação e o desenvolvimento dos seres vivos, se manifestando através de suas características externas, morfológicas e fisiológicas chamadas de fenótipo (BURNS, 1986). No contexto natural, a hereditariedade ocorre através dos genes, sendo estes uma macromolécula de dupla hélice, semelhante a uma espiral, chamada ácido desoxirribonucleico, abreviado para DNA. O DNA corresponde assim, ao material hereditário que passa de uma geração à seguinte, ditando as propriedades inerentes de uma espécie (Figura 3). Cada célula em um organismo contém, tipicamente, um ou dois grupos do complemento básico do DNA, chamado de genoma (GRIFFITHS et al, 2001).

Figura 3: Estruturas Codificadas do Genótipo- DNA

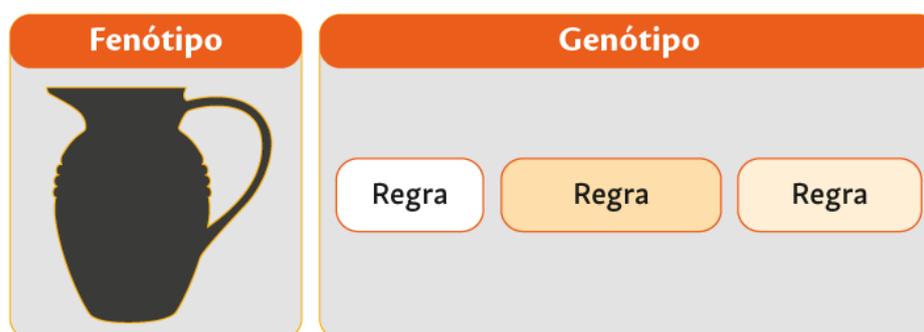


Para aproximar o mecanismo da hereditariedade natural ao método generativo proposto por este trabalho, houve a necessidade de simplificar e correlacionar os agentes de ambos os contextos para promover a sua viabilidade técnica. Enquanto no contexto natural a codificação está sob a forma de uma sequência de subunidades químicas, no contexto dos métodos generativos temos a gramática da forma como meio de composição de características estético-formais. O projeto generativo é resultado de um algoritmo composto por regras semânticas, referentes ao significado e à interpretação dos elementos projetuais; e sintáticas, que se referem às relações formais de estruturação tais como: ordem, arranjo e subordinação

(MITCHELL, 1992).

A partir deste raciocínio George Stiny e James Gips desenvolveram a Gramática da Forma, que consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras e tem sua origem na gramática generativa do linguista Noam Chomsky (CELANI et all, 2006). A gramática é definida como a teoria de estruturação de uma linguagem que determina um conjunto de regras que irão ordenar a combinação de palavras de modo a produzir sentenças gramaticais válidas (GONÇALVES, 2007). Neste sentido, a gramática das formas é aplicada com o objetivo de estruturar a maneira de combinar as formas manipuladas de acordo com as regras, podendo produzir uma classe de modelos em um estilo particular para gerar diversas formas emergentes seguindo uma mesma linguagem de design (CHA e GERO, 2006). Sendo assim, é possível compreender que um conjunto de regras formais compostas de operações determinadas por entes geométricos, variáveis de dimensão, relações topológicas, relações de inter-relações e de transformações isométricas, além das operações lógico-matemáticas, podem corresponder a codificação denominada no contexto natural em Genótipo e sua formalização espacial em Fenótipo (Figura 4).

Figura 4: Conceito de Genótipo e Fenótipo



Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

Ao se estabelecer uma categoria conceitual como objeto de investigação formal, se percebem as variações formais do desenho da superfície (permitidas pela manipulação da geratriz, ou seja, variações de raio em relação ao eixo ao longo da altura do artefato) como agente unificador do conjunto (família). Lembrando que um produto pode ser identificado pelas suas proporções, linhas orgânicas ou linhas inclinadas características, se adotou a construção da geratriz por meio de arcos euclidianos para determinar e controlar a sua composição e decomposição formal.

A Figura 5 exemplifica o raciocínio de construção de uma geratriz através de arcos de circunferência dispondo 3 (três) circunferências com inter-relações de contato, cujos arcos adjacentes intercalados evidenciam uma geratriz. As circunferências que originaram os arcos, possuem relação topológica e de transformação, e dimensionamentos.

Uma vez isolada a geratriz de uma superfície e compreendida quais são seus entes geométricos, seus operadores e relações topológicas e de transformação através do uso da gramática da forma, se torna viável a obtenção da fórmula geométrica para construção de uma nova forma a partir desta mesma sequência de geração, apenas alterando o conteúdo de suas variáveis.

Figura 5: Esquema Ilustrado de Composição da Forma usando Superfícies de Revolução

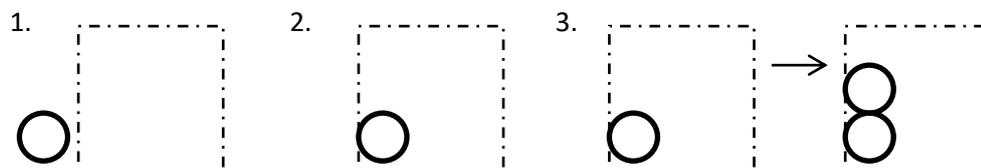


Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

### 2.1. Transcrição do Vocabulário Genético para Geométrico

Stiny (1980) divide a estruturação da gramática da forma em cinco etapas, definidas como: Vocabulário: formas primitivas e de suas potenciais possibilidades de composição (Figura 6.1); Relações Espaciais: combinação do vocabulário a partir de operações booleanas, categorias de inter-relação e transformações isométricas e paramétricas (Figura 6.2); Regras Formais: A partir das relações espaciais, são definidas regras de transformação do tipo  $A \rightarrow B$  (ao encontrar A, substitua por B) (Figura 6.3); se permitindo assim a composição de formas emergentes (STINY, 1980).

Figura 6: Unidade Formal em Família de Produtos



Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

O Quadro 1 demonstra o exemplo da composição de uma geratriz utilizando a sequência de passos e os elementos da gramática da forma para identificação e compreensão da sua sequência generativa. Com isso é possível evidenciar o número de elementos, de regras e o tipo de operações que compõem a forma.

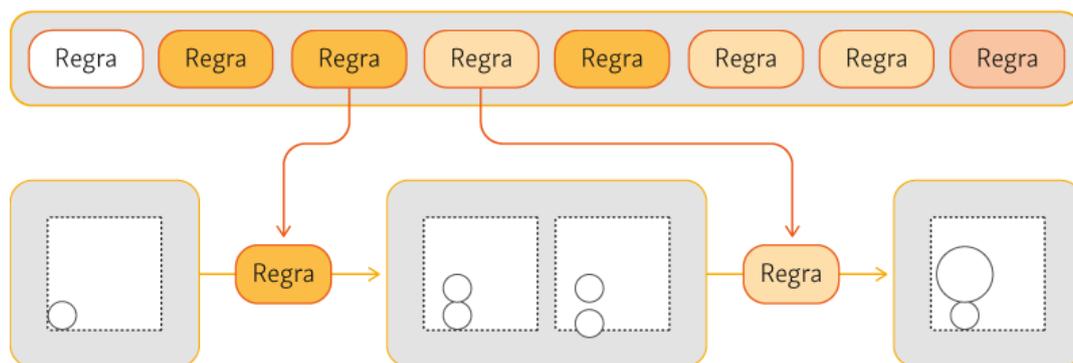
Sendo assim, retomando a analogia com a genética, foi possível estabelecer que uma regra formal corresponde ao conceito de gene, e o conjunto de regras formais necessárias para a composição de uma geratriz, ou seja o conjunto de genes, corresponde a um cromossomo (Figura 6). Portanto, cada geratriz terá o seu cromossomo composto por uma sequência de genes que possuem material genético que coletivamente compõe o genótipo, onde as codificações manifestam no fenótipo. O número de regras formais pode variar de acordo com a complexidade geométrica do objeto, sendo que o número de regras não se vincula a uma espécie. Conforme visto anteriormente, uma categoria conceitual pode ser composta por membros de diferentes espécies, exemplificado, podemos considerar dois elementos da mesma espécie (duas xícaras) com um número diferente de regras. Assim como podemos ter dois elementos de espécies diferentes (xícara e bule) com o mesmo número de regras.

Quadro 1: Composição de Geratriz usando Gramática da Forma

Regra	De	Para	Operação
Regra 1			Cria a área
Regra 2			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;
Regra 3			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;
Regra 4			Aplica escala em um dos elementos do vocabulário;
Regra 5			Desloca um dos elementos do vocabulário;
Regra 6			Adiciona um elemento de vocabulário com dimensão e posição determinadas;
Regra 7			Desloca um dos elementos do vocabulário;
Regra 8			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;

Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

Figura 6: Cromossomo composto por Regras Formais (Genes)



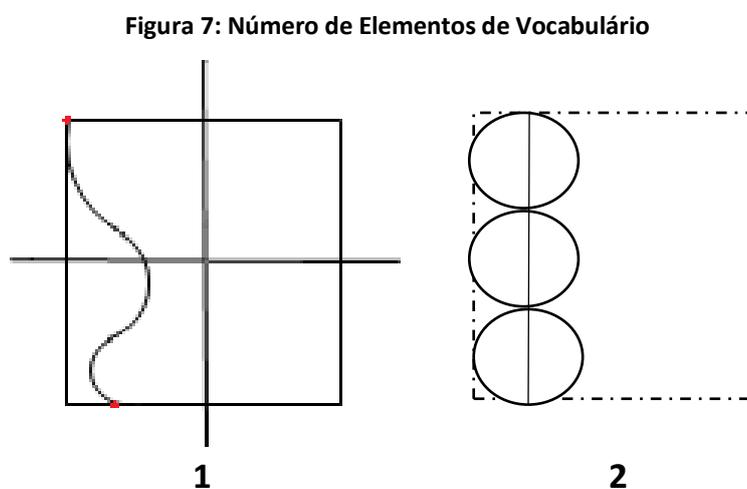
Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

A composição de uma forma pode ser descrita através de seus elementos componentes e conjunto de operações se obtendo assim uma regra (ou um conjunto de regras, dependendo da complexidade) para criação desta forma. Se pode então corresponder este conjunto de regras ao conceito de genótipo, e a forma composta ao conceito de fenótipo. A partir disto foi construído um conjunto de regras generativas para compor um exemplo para análise conforme visto no Quadro 1. Para a sua composição, foram necessárias o uso de dois distintos elementos de vocabulário, o primeiro que determina o espaço dimensional do objeto, definindo o raio ( $r$ ) e altura ( $h$ ) limites do objeto final; e uma circunferência para permitir a construção dos arcos. Foram também necessárias oito regras formais que realizaram Adição, Escala e Deslocamento, que correspondem à operações booleanas e à relações de topológicas e de transformação.

## 2.2. Transcrição do Vocabulário Genético para Geométrico

Para a implementação do mecanismo em um modelo computacional, o vocabulário genético precisa ser adaptado ao vocabulário computacional, de maneira que possa ser manipulado por uma algoritmo. Um algoritmo é uma sequencia finita e bem definida de passos que, quando executados, realizam uma tarefa especifica ou resolvem um problema. Portanto são propriedades de um algoritmo ações simples e bem definidas (não pode haver ambiguidade, ou seja, cada instrução representa uma ação que deve ser entendida e realizada); há uma sequencia ordenada de ações; e há um conjunto finito de passos. Sua estrutura é composta por declaração de constantes e variáveis; comandos de atribuição; estruturas de seleção e estruturas de repetição e chamada de funções ou procedimentos. (DAVIS, 1990).

O resultado obtido com a estruturação da geratriz usando a gramática da forma, permitiu a observação de que o número de arcos (Figura. 7.1), corresponde ao número de elementos de vocabulário inicial (Figura 7.2). Portanto obteve-se o primeiro identificador de variável denominado "nev" (nev = número de elementos de vocabulário). Para fins de identificação da proporção entre os círculos adota-se que a medida do diâmetro "d" inicial dos círculos (elementos de vocabulário) será o mesmo para todos e ocupando a altura "h" do corpo do objeto, sendo assim:

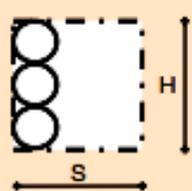


Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

Uma vez evidenciada a organização e a relação entre os elementos da gramática, foi também possível observar a repetição de algumas operações, permitindo-se assim isolar e estabelecer regras distintas que podem operar com diferentes variáveis. Neste caso as etapas foram agrupadas em 4 (quatro) diferentes regras.

**Regra 0:** O Quadro 2 apresenta a regra em é estabelecido o “Nev” número inicial de elementos de vocabulário. A altura (h) corresponde à altura do objeto e define a altura da composição (empilhamento) de elementos do vocabulário inicial; e a largura (s) corresponde a largura do elemento. A regra é compreendida pela seguinte função: CriarArea(h,s,nev).

Quadro 2: Regra 0

Regra	De	Para	Operação
Regra 0			Cria a área

Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

**Regra 1:** A Quadro 3 apresenta a sequência de geração que evidencia que a regra que adiciona elementos à composição pode estabelecer a parametrização dos seguintes parâmetros: forma, escala e translação. A regra é representada pela seguinte notação: Adicionar( forma; escala; translação; inter-relação; percprof). O parâmetro “inter-relação” determina o tipo de inter-relação (Superposição ou União) entre a forma anterior e a atual. Já o parâmetro “percprof” (percentual de profundidade) determina o percentual de profundidade da superposição ou união, sendo que o valor “0” (zero) indica contato entre as duas formas e o valor “100” (cem) indica sobreposição total.

Quadro 3: Regra 1

Regra	De	Para	Operação
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Adição Circulo
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Escala de -70% (0,7)
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Translação de 10° (0,1)

Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

Regra 2: Nesta regra é definido movimento da geratriz em que a o elemento do vocabulário também é adicionado, pode sofrer operação relacionado à escala e translação, porém determinando sentido oposto ao movimento da geratriz provocado pela função “Adicionar” (Quadro 4). Os movimentos com esta característica são representados pela seguinte notação: Subtrair (forma; escala; translação; inter-relação; percprof).

Quadro 4: Regra 2

Regra	De	Para	Operação
Regra 2			Subtrai um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Subtração Círculo, Translação -30°

Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

Em caso de repetição de regras a função Repetir (Regra 3) é usada associada às funções Adicionar e Subtrair com os seguintes parâmetros: Reg (regra que será repetida), n (número de repetições) e traj (trajetória a ser realizada). A operação é representada pela seguinte notação: Repetir(Adicionar(forma; escala; translação; inter-relação; percprof),n,traj).

Para a etapa de verificação do modelo generativo proposto, foi utilizada uma família de produtos que usa a geometria da superfície como elemento unificador do conjunto. A Figura 8 (A, B e C) exemplifica visualmente a sequência de construção das geratrizes de três diferentes membros desta uma família, através de seus arcos de circunferência que constituem a superfície morfológica dos elementos.

Figura 8: Composição de Geratrizes através de Arcos Tangentes



Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

A seguir, a Quadro 5 apresenta as relações Gene-Função-Parâmetro para cada uma das geratrizes da Figura 8, que vêm a definir os seus cromossomos. Inicialmente estabelece-se a criação de área que organiza a altura do objeto, através da função ‘CriarArea’ inicializando-se os seus parâmetros. Em seguida são identificados o número de objetos de vocabulário utilizados para cada geratriz e parametrizados através da função ‘Adicionar’. A função ‘Repetir’ organiza a reincidência de movimentos e operações e a função ‘Subtrair’ orienta a direção da geratriz em relação ao eixo. As codificações (sequenciamento de genes) se repetem até a finalização da composição geométrica euclidiana da forma. O conteúdo da variável Parâmetro, estabelece o grau de pertinência do gene em relação ao cromossomo, ou seja a relevância da

operação geométrica em relação à forma. No uso de algoritmos genéticos, este parâmetro pode ser aplicado para determinar a herança do gene, criando condições de manipular a prevalência (0 à 100%) de uma determinada operação geométrica em sucessivas gerações de maneira análoga ao fenômeno da dominância (D) e recessividade (R) no contexto biológico. A Tabela 1 apresenta também a simulação do formato gerado pela geratriz após o movimento de revolução.

Tabela 1: Simulação do formato

Cromossomo Geratriz 1 <b>A</b>		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(8,5,8)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 15; 45°; *uniao*; 20%)	R
Gene 3	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; *uniao*; 100%)	D 50%
Gene 4	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; *uniao*; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; *uniao*, 40%); 3; Gene3)	D 100%
Gene 5	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; *uniao*, 0%)	R
Gene 6	Finalizar()	

Cromossomo Geratriz 2 <b>D</b>		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 1,1*r; 5°; *uniao*, 10%)	R
Gene 3	Adicionar(circulo; 1,1*r; 5°; *uniao*, 10%)	R
Gene 4	Subtrair(circulo; 0,3; -30°; *uniao*, 0%)	D 50%
Gene 5	Finalizar()	

Cromossomo Geratriz 3 <b>C</b>		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 15; 45°; *uniao*; 20%)	D 50%
Gene 3	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; *uniao*; 100%)	R
Gene 4	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; *uniao*; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; *uniao*, 40%); 3; Gene3)	D 100%
Gene 5	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; *uniao*, 0%)	R
Gene 6	Finalizar()	

Cromossomo Geratriz 4 <b>B</b>		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; *uniao*; 100%)	R
Gene 3	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; *uniao*; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; *uniao*, 40%); 3; Gene2)	D 100%
Gene 4	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; *uniao*, 0%)	R
Gene 5	Finalizar()	

Fonte: Elaborado por Tânia Sulzbacher

### 3. Avaliação do Grau de Similaridade Morfológica

Para avaliar o grau de similaridade entre duas geratrizes comparadas, se utiliza o gráfico de pontos que consiste em uma forma de visualização que fornece um panorama de similaridade

entre duas frequências (par a par). O gráfico de pontos é uma tabela ou matriz cujas as linhas correspondem a uma sequencia, e as colunas, a outra sequencia, o que significa que podem assumir um diferente número de itens, pois a avaliação está na ocorrência da relação linha x coluna. Na sua forma mais simples, as posições no gráfico de pontos são deixadas em branco se os valores forem diferentes, e preenchidas se eles forem iguais. Segmentos de valores similares são mostrados como linhas diagonais (LESK, 2008). O Quadro 5 ilustra a matriz do gráfico de pontos mostrando a identidade entre o nome abreviado (DOROTHYHODGKIN) e o nome completo (DOROTHYCROWFOOTHODGKIN) de uma famosa cristalógrafa de proteínas.

Quadro 5: Exemplo de Gráfico de Pontos

	D	O	R	O	T	H	Y	C	R	O	W	F	O	O	T	H	O	D	G	K	I	N
D	D																	D				
O		O		O						O				O	O			O				
R			R							R												
O		O		O						O				O	O			O				
T					T											T						
H						H											H					
Y							Y															
H						H											H					
O		O		O						O				O	O			O				
D																		D				
G																			G			
K																				K		
I																					I	
N																						N

Fonte: (LESK, 2008)

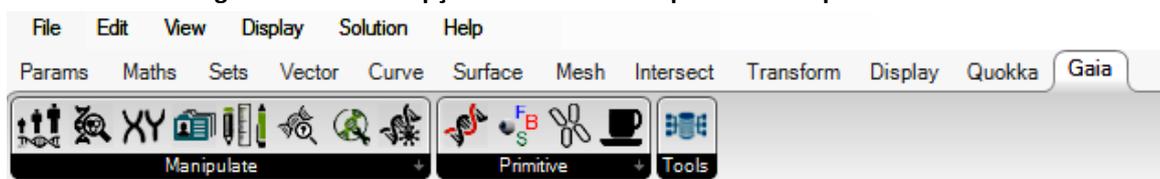
Fazendo-se uma analogia com a estrutura adotada neste trabalho, foi adotado também o conceito de codificação por *base*, onde cada *base* corresponderá a um operador ou variável deste. Considerando as operações apresentadas na Tabela 5, a saber: *Adicionar (forma; escala; translação; inter-relação; % profundidade)*; *Subtrair (forma; escala; translação; inter-relação; % profundidade)*; e *Repetir (regra-gene; número de repetições; regra-gene de trajetória)*, obtém-se as seguintes bases: A,S,R,C,I,X,Y,P,U,Z,N; onde **A** (Adicionar), **S** ( Subtrair), **R** (Repetir), **C** ou **I** (Círculo ou Triângulo), **X** (escala), **Y** (translação), **P** ou **U** (Superposição ou União), **Z** (profundidade), **N** (número de repetições). Considerando as regras descritas acima obtém-se as sequências de DNA para os cromossomos exemplificadas no Tabela 5 e que podem ter seu conteúdo cruzado através do gráfico de pontos, por exemplo: Linha (Cromossomo 1 - A C 15 45° U 20% A C 4,5 95° U 100% R A C 0,3 -90° U 30% S C 0,3 -90°) e Coluna (Cromossomo 3 - A C 15 45° U 20% A C 4,5 95° U 100% R A C 0,3 -90° U 80% S C 0,3 -90° U 40% 3 GENE-3 S C 4,5 -30 U 0%). Em seguida é possível observar o grau de similaridade evidenciado através do cruzamento das ocorrências.

#### 4. Implementação do Modelo Computacional

Para estruturar o modelo generativo proposto neste trabalho, está sendo desenvolvido um ambiente computacional de simulação onde se adotou o software Grasshopper® que é um editor algoritmo gráfico integrado com as ferramentas de modelagem do Rhino 3-D®, e que permite o desenvolvimento de plug-in's que estendem as suas funcionalidades através de programação. Assim, torna-se possível desenvolver módulos funcionais integrados (plug-in's)

com objetivos específicos, como no caso deste trabalho que implementa a possibilidade de geração de variantes formais a partir de uma forma seminal. Associado ao Grasshopper®, é também utilizado o banco de dados MongoDB®, que permite a organização e persistência dos dados. Para implementação do raciocínio evolutivo foi adotado o software Galápagos® que possibilita a geração e acompanhamento das subseqüentes gerações de indivíduos em algoritmos genéticos. A estratégia de programação utilizada é a orientação à objetos implementada através da linguagem VB.NET®. A Figura 9, mostra o menu de opções que corresponde aos objetos e operações implementados a partir do modelo generativo proposto.

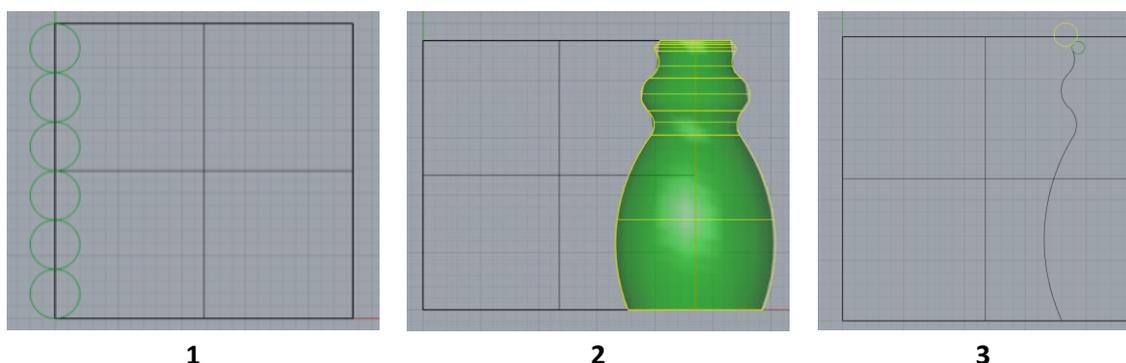
**Figura 9: Menu de Opções do Modelo Computacional Implementado**



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

O modelo computacional implementado permite explorar a manipulação das geratrizes através de três conjuntos funcionais elementares: o conjunto de ações que permite a composição inicial dos elementos de uma geratriz; o conjunto de ações relacionadas às operações de transformação destes elementos; e as operações de manipulação genética. A Figura 10 mostra a seqüência de operações relacionadas à criação e configuração de uma geratriz seminal, onde é possível visualizar o número inicial de elementos de vocabulário (Figura 10.1) que correspondem à seis genes; a incidência de operações de transformação (Figura 10.2) que evidenciam as características formais da geratriz; e superfície de revolução gerada (Figura 10.3) de acordo com a sua composição. A partir desta configuração, a geratriz seminal está apta para as derivações formais através das operações de manipulação genética.

**Figura 10: Exemplo de Configuração de Geratriz Seminal**



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

## 5. Considerações Finais

Neste trabalho, foi apresentado um modelo generativo baseado em analogia biológica capaz de manter a coerência formal entre os membros de uma família de produtos, através da

elaboração de um mecanismo baseado no princípio natural da hereditariedade que permite a derivação da morfologia de uma forma seminal para os demais membros do conjunto e do uso do gráfico de pontos para observar o grau de similaridade das suas variantes com o objetivo de manter-se assim a coerência estilística da família. Tal coerência, diz respeito ao reconhecimento da identidade visual relacionado a uma determinada marca ou produto antecessor, mantendo-se assim o vínculo de significado para o consumidor;

O modelo generativo utilizou a gramática da forma como estratégia de composição e decomposição das geratrizes que descrevem a morfologia das superfícies de revolução, criando condições de manipular os seus elementos e seus operadores de maneira isolada, além de permitir a relação das equivalências entre os padrões geométricos, genéticos e computacionais. Em consequência, torna-se possível a troca de material genético entre duas distintas composições formais, ou seja, é possível derivar a geometria de um elemento A para um elemento B de maneira integral ou parcial, simulando as operações da genética como combinação e mutação através de algoritmos genéticos (AG's).

Além da contribuição do modelo generativo, evidenciado nas transcrições propostas: genética e computacional, esta pesquisa estabelece uma base de conhecimento para o uso dos algoritmos genéticos (AG's) no processo de design apresentado um método sistemático para a sua implementação, o que pode significar um aumento expressivo de soluções projetuais uma vez que permite a geração e verificação de um maior número de combinações.

## Referências

- BACK, N. ; OGLIARI, A.; DIAS, A. E SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos**. Manole, Barueri, SP, 2008;
- BAXTER, M. Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de novos Produtos. Edgar Blucher:São Paulo, 1994;
- BONSIEPE, Gui. **Teoria e practica del disegno industriale: Elementi per una manualistica critica**. Milão: Giangiacomo Feltrinelle, 1975
- BURNS, George W. **Genética: uma introdução à hereditariedade**. Guanabarra: Rio de Janeiro, 1986;
- CELANI, C.; CYPRIANO, D; GODOI, G; VAZ, C. E. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Revista Conexão: Comunicação e Cultura, ISSN Online: 2178-2687, vol 5, num. 10, 2006;
- CHA, M. Y.; GERO, J. S. **Shape Pattern Representation for Design Computation**. Working Paper, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney. 2006;
- DAVIS, L., **Handbook of Genetic Algorithms**, VNR Company Library, 1990.
- ECHEVESTE, M. S. & FETTERMANN D.C., **Desenvolvimento de produto para customização em massa: alternativas para o setor de móveis modulados** Espacios. Vol. 32 (4) 2011.
- ELGARD, P. & MILLER, T.D. **Designing Product Families**, Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe 1998. ISBN 87-89867-60-2. Aalborg University 1998.
- GONÇALVES, R. T. **Chomsky e o aspecto criativo da linguagem**. Revista Virtual de Estudos da Linguagem – ReVEL. V. 5, n. 8, março de 2007. ISSN 1678-8931

GRIFFITHS, A.; WESSLER, S.; CARROLL, S.; DOEBLEY, J. **Introdução à Genética**. Guanabarra: Rio de Janeiro, 2001;

KOTLER, P. **Princípios do Marketing**. São Paulo: Pearson, 2008;

LESK, A. **Introdução à Bioinformática**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2008.

LOBACH, B. **Design Industrial: Bases para a Configuração dos Produtos Industriais**. São Paulo: Edgard Blucher Editora, 2001.

MITCHELL, W. J. **The Logic of Architecture**. MIT Press, Cambridge, MA, 1992.

NACHTIGALL, W. **Bionik als Wissenschaft. Erkennen → Absrahieren → Umsetzen**. Berlin: Springer, 2010;

PAHL, G. & BEITZ, W., **Engineering Design: A Systematic Approach**, Springer Verlag, ISBN: 3540100179, 1996.

PINE, J. **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition**, Harvard Business School Press, ISBN: 0875843727, 1993.

STINY, G. **Introduction to Shape and Shape Grammars**. Environment and Planning B. London, Volume 3 p. 343-351, 1980

TEIXEIRA, F.G. **Um Modelo Evolutivo para o Processo de Geração e Seleção de Alternativas em Design**. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Belo Horizonte: Blucher Design Proceedings, 2016; num. 2, vol. 9