

GUTIERRES, A.; DORNELLES FILHO, A. A. Formalização da variação fonológica na aquisição da nasal velar em inglês pelo ORTO Ajuste Paramétrico. *ReVEL*, vol. 15, n. 28, 2017. [www.revel.inf.br]

FORMALIZAÇÃO DA VARIAÇÃO FONOLÓGICA NA AQUISIÇÃO DA NASAL VELAR EM INGLÊS PELO ORTO AJUSTE PARAMÉTRICO

Athany Gutierres¹

Adalberto Ayjara Dornelles Filho²

athany@gmail.com

aadornellesf@gmail.com

RESUMO: A Teoria da Otimidade (OT) (Prince; Smolensky, 2004 [1993]), oriunda da teoria gerativa clássica, instaurou uma proposta formal consistente de representação de estruturas linguísticas através do mapeamento de representações mentais (*input*) e representações de superfície (*outputs*), avaliadas por restrições universais ao invés de regras, de forma paralela ao invés de serial, como eram feitas as análises linguísticas até então. Apesar de seu robusto potencial para a formalização das línguas, a OT não é capaz de explicar a variação - característica indiscutivelmente atestada nos sistemas linguísticos -, já que não possui os mecanismos de geração de dois ou mais *outputs* variáveis. Modelos advindos da OT e da Gramática Harmônica (HG) (Legendre; Miyata; Smolensky, 1990a, b; Smolensky; Legendre, 2006), vinculados a algoritmos de aprendizagem, surgem na ciência linguística para dar conta dessa lacuna deixada pela OT. Os algoritmos funcionam como simuladores computacionais da aquisição de língua estrangeira, mostrando-se eficientes em relação às tarefas que devem desempenhar. Neste artigo, apresentamos uma nova alternativa de algoritmo de aprendizagem harmônico, o ORTO Ajuste Paramétrico (Dornelles Filho, 2014), de aplicação muito semelhante ao GLA-HG (Boersma; Hayes, 2001). Exemplificamos suas funcionalidades através de dados de aquisição variável da nasal velar em inglês por falantes de português. O ORTO mostrou-se adequado com a formalização da variação em um determinado estágio desenvolvimental de aquisição do inglês como língua estrangeira.

PALAVRAS-CHAVE: Linguística formal; variação fonológica; aquisição de língua estrangeira; algoritmo harmônico.

ABSTRACT: Optimality Theory (OT), (Prince; Smolensky, 2004 [1993]), originated from classic generative theory, has established a consistent formal proposal for the representation of linguistic structures through the mapping of mental representations (*input*) and surface representations (*outputs*), evaluated by universal constrictions instead of rules, in a parallel way instead of a serial one, as linguistic analyses had been done so far. Regardless of its strong potential to the formalization of languages, OT is incapable of explaining variation - an unquestionably attested characteristic of language systems -, since it does not provide the mechanisms for the generation of two or more variable outputs.

¹ Doutora em Letras - Estudos da Linguagem (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS); professora do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS - Câmpus Porto Alegre).

² Mestre em Matemática Aplicada (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS); professor e pesquisador da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

OT and Harmonic Grammar (HG) derived models (Legendre; Miyata; Smolensky, 1990a, b; Smolensky; Legendre, 2006), associated to learning algorithms, arise in linguistic science in order to account for such gap left by OT. The algorithms work as computational simulators of foreign language acquisition, appearing to be efficient regarding the tasks they must perform. In this article, we present a new alternative of harmonic learning algorithm, the *ORTO Ajuste Paramétrico* (Dornelles Filho, 2014), whose application is very similar to GLA-HG (Boersma; Hayes, 2001). We exemplify its functionalities through data of variable language acquisition of the velar nasal in English by Portuguese speakers. ORTO has proved to be adequate to the formalization of variation in a certain developmental stage of English acquisition as a foreign language.

KEY-WORDS: Formal linguistics; phonological variation; foreign language acquisition; harmonic algorithm.

INTRODUÇÃO

A influência de uma língua materna (LM) sobre a aquisição de uma língua estrangeira (LE) vem sendo atestada nos diferentes domínios da linguagem (fonológico, sintático, morfológico) e tem sido representada de maneiras variadas na ciência linguística. Em modelos formais vinculados à Teoria da Otimidade (*Optimality Theory*, OT) (Prince; Smolensky, 2004 [1993]), a ação da primeira língua (L1) na aquisição da segunda (L2) decorre da interação de restrições linguísticas universais.

No entanto, a proposta clássica da teoria é incapaz de formalizar a variação, característica inerente a todos os sistemas linguísticos (Labov, 1994; 2001). Modelos mais recentes, como a OT Estocástica (Boersma; Hayes, 2001) e a Gramática Harmônica (*Harmonic Grammar*, HG) (Smolensky; Legendre, 2006), ao assumirem princípios da OT e associarem-se a algoritmos de aprendizagem, apresentam-se como alternativas à então limitação da proposta otimalista padrão. No que tange à aquisição da fonologia de LE, trabalhos como os de Bonilha (2005), Alves (2008, 2009, 2010), Azevedo (2011), Azevedo, Matzenauer e Alves (2012, 2013) e Alves e Lucena (2014) são exemplos de representação da interação entre LM/L1 e LE/L2³ pela OT.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma nova alternativa para a formalização da variação linguística na aquisição de LE: o ORTO⁴ Ajuste Paramétrico (Dornelles Filho, 2014). O algoritmo conjuga fundamentos da OT (mapeamento *input-output*, restrições) aos princípios de avaliação da HG, atribuindo pesos (variáveis aleatórias) às restrições e selecionando candidatos por seu valor de harmonia (soma dos

³ Não fazemos a distinção entre os pares 'língua materna' e 'primeira língua', 'língua estrangeira' e 'segunda língua'. A literatura na área também tem apresentado o uso indistinto desses termos. Neste momento, preferimos empregar 'língua materna' e 'língua estrangeira', já que o último foi utilizado no título do trabalho.

⁴ Ordenação de Restrições pela Teoria da Otimidade.

pesos das restrições violadas pelo candidato), distinguindo-se da noção de ranqueamento estrito da OT padrão. O foco do artigo reside na análise da potencialidade do algoritmo para o modelamento da variação na aquisição, e não nas dissimilaridades teóricas existentes a respeito do processamento linguístico entre OT e HG.

A apresentação do ORTO será exemplificada com dados de aquisição da nasal velar em coda silábica final por aprendizes de inglês (Gutierrez, 2016). Como sabemos, há uma importante diferença quanto ao *status* desse fonema em português e em inglês. Em português, a nasal velar não compõe o inventário fonológico da língua, é realização fonética condicionada pela articulação de segmentos adjacentes (Camara Jr., 2005 [1970]; Battisti, 2014), como na palavra ‘atu[ŋ]’, em que a nasal assimila os traços de posterioridade da vogal precedente, realizando-se como velar. Já em inglês, essa nasal é fonema da língua, como se observa no par distintivo ‘si[n]’ (pecado) e ‘si[ŋ]’ (cantar), em que a nasal realiza-se como alveolar ou velar, independentemente do ponto de articulação da vogal que a precede (Roach, 2000).

Os dados advêm de gravação de fala semicontrolada de aprendizes de inglês de níveis iniciais, examinados sociolinguisticamente (Gutierrez, 2016); o *corpus* está restrito à produção de palavras terminadas por -ing, em que a variação manifesta-se entre a realização da nasal palatal /ɲ/, condicionada pelo licenciamento dessa consoante em posição final no português, coarticulada com a vogal precedente, e a nasal velar /ŋ/, esforço articulatorio do aprendiz em direção à aquisição da forma alvo.

A organização do artigo dá-se do seguinte modo: após esta Introdução, segue-se com a (1) Fundamentação teórica, a (2) Formalização gramatical e a (3) Conclusão. A seção (1) sumariza as duas teorias de base do algoritmo a ser apresentado, a Teoria da Otimidade (padrão) e a Gramática Harmônica. A seção (2) apresenta a análise da aquisição variável da nasal velar em inglês através do ORTO. A seção (3) é a Conclusão, que avalia a execução do algoritmo em relação ao fenômeno fonológico investigado e expõe a forma de representação da gramática em aquisição proposta pelo ORTO, seguida das Referências.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 TEORIA DA OTIMIDADE

A Teoria da Otimidade (Prince; Smolensky, 2004 [1993]) é um modelo representacional da gramática gerativa, surgido na década de 90, cujo foco principal é a descrição formal do processamento das línguas através de restrições linguísticas e de forma paralela, e não mais de regras e de forma serial, como se fazia na teoria gerativa clássica. Apesar de não se restringir à fonologia, é nessa área que se concentra a maior parte dos estudos desenvolvidos recentemente.

A premissa básica do modelo é a de que as restrições são universais e o ordenamento dessas restrições é particular, o que torna possível a diferenciação das línguas; ou seja, todas as restrições estão presentes em todas as gramáticas, apesar de algumas restrições causarem pouco ou nenhum efeito em determinadas estruturas linguísticas em razão de seu baixo (menos importante) ordenamento.

Pela OT, a fala é resultado de um mapeamento entre representações mentais (*input*) e representações de superfície (*output*), aquelas que se efetivam na produção linguística. O processamento da gramática do falante é operado por componentes da Gramática Universal (GU): CON, o conjunto universal de restrições linguísticas; GEN, o constituinte que gera candidatos a *output* e EVAL, o constituinte que avalia esses candidatos, com base em CON; além de componentes particulares da língua do falante, como o LEXICON, que contém as representações fonológicas e informações morfológicas dos itens lexicais, além da própria hierarquia de CON.

A gramática opera da seguinte maneira: o dispositivo GEN cria diferentes candidatos a *output* (Out_1, Out_2, \dots), que são avaliados por EVAL com base num conjunto CON de restrições ($Out_i, 1 \leq i \leq \infty$) hierarquicamente dispostas da mais importante (à esquerda) para a menos importante (à direita). Dessa avaliação, emerge a forma “ótima” (Out_{real}), que se manifesta na fala do indivíduo como derivação fonética, representação física desse processo subjacente. Tal processamento pode ser observado no quadro 1.

Structure of Optimality-theoretic Grammar

a. Gen (In_k) \rightarrow {Out₁, Out₂, ...}

b. H-eval (Out_i, $1 \leq i \leq \infty$) \rightarrow Out_{real}

Quadro 1: Processamento gramatical na OT (Prince; Smolensky, 2004 [1993], p. 04)

O mapeamento entre *input*, restrições e *output* é representado por tabelas chamadas de *tableaux*. Na tabela 1, por exemplo, temos um *tableau* construído a partir de formas da língua Berber que, curiosamente, aceita qualquer segmento como núcleo da sílaba:

	/t̥x.z̥nt./	ONS	HNUC
1	☺ .t̥x.z̥nt.		ñ, x̥
2	.tx̥z̥.nt.	*!	ñ, ž̥

Tabela 1: Exemplo de *tableau* na OT (Prince; Smolensky, 2004 [1993], p. 24)

A segunda coluna à esquerda, na primeira linha, apresenta o *input* /t̥x.z̥nt./ e, abaixo dele, os dois candidatos a *output*, [.t̥x.z̥nt.] e [.tx̥z̥.nt.]. A linha superior, a mesma do *input*, apresenta as restrições linguísticas hierarquicamente dispostas: ONS, a mais importante, à esquerda, e HNUC, a menos importante, à direita. Dizemos que ONS apresenta *dominância* sobre HNUC e denotamos ONS >> HNUC. Os espaços entrecruzados pela relação *input* x restrições apresentam as marcas de violação (*) de cada candidato. Há dois candidatos a *output*, [.t̥x.z̥nt.] e [.tx̥z̥.nt.]. O símbolo ☺ indica o vencedor, o primeiro candidato. ONS requer que todas as sílabas tenham *onset* e HNUC exige que um núcleo de maior sonoridade seja mais harmônico do que um de baixa sonoridade (Prince; Smolensky, 2004 [1993], p. 12). O candidato 2 é imediatamente eliminado por ter ferido a restrição mais alta do ranqueamento, incorrendo uma violação fatal (*!), já que possui uma sílaba sem *onset* (nt̥). Na abordagem padrão da OT, o fato de ele ter ferido duas vezes a restrição HNUC é irrelevante, dada a hierarquia dessa gramática. A parte sombreada do *tableau* indica que aquela interação é desnecessária à resolução da disputa pelo candidato ótimo. Na OT, os candidatos constituem formas possíveis da língua e a escolha inconsciente do falante pelo

vencedor será a melhor escolha, a escolha ótima, face às exigências (restrições) em interação na gramática da língua.

Inicialmente, a OT foi pensada para o modelamento de gramáticas categóricas (sem variabilidade), já que, segundo a teoria, apenas **um** candidato pode ser selecionado como ótimo. Derivada da visão gerativista, que trabalha com a hipótese de falantes e gramáticas ideais, e preocupada essencialmente com a competência linguística, a proposta é de certa forma limitada ao se considerar a natureza variável da linguagem, evidenciada no desempenho linguístico dos falantes. Essa dualidade entre categoricidade x variabilidade impõe alguns desafios ao modelo, que já podem ser tratados por propostas recentes oriundas da ou semelhantes à teoria original.

1.2 GRAMÁTICA HARMÔNICA

A Gramática Harmônica (HG) é um modelo de base conexionista proposto por Legendre, Miyata e Smolensky (1990a, b). Apesar de ser anterior à publicação de Prince e Smolensky (2004 [1993]), a HG ganhou maior notoriedade a partir de sua versão atualizada (Smolensky; Legendre, 2006). Embora divergentes quanto à compreensão do processamento linguístico, tanto para a HG quanto para a OT, a estrutura das línguas é determinada pelo poder das restrições, representado em pesos numéricos na HG e em forma de ranqueamento na OT (Pater, 2009). Em ambas, o mapeamento de *input* e restrições, caracterizado pelos *tableaux*, é o mesmo. Como o que as diferencia é o modo com o qual os *outputs* são selecionados, podemos dizer que a HG, nesse sentido, é uma abordagem alternativa à OT (padrão).

Segundo os pressupostos da HG (Legendre; Miyata; Smolensky, 1990a), existem dois níveis de representação da linguagem enquanto conhecimento cognitivo, sob a forma de redes neurais: um nível inferior e um nível superior. No nível inferior (*Lower Network* ou *LNet*), há um tipo de representação distribuída, mas não em unidades, e sim sob a forma de padrões de distribuição, desprovidos de interpretação semântica; “a descrição contínua e numérica do cérebro⁵”. No nível superior (*Higher Network* ou *HNet*), há representações locais que descrevem o “comportamento computacional” do outro nível; “a descrição discreta e estrutural da mente” (Smolensky; Legendre, 2006).

⁵ As traduções do original são livres e de responsabilidade dos autores.

A noção de ‘harmonia’ garante a representação da boa formação linguística, alcançada através de um mapeamento entre os dois níveis, reunindo a caracterização neural conexionista à noção de otimização. Dois princípios fundamentais governam a noção de harmonia nessa proposta, conforme exposto pelos autores (Legendre; Miyata; Smolensky, 1990a, b):

- a. A condição x nunca deve ser violada em estruturas bem formadas.
- b. Se a condição x é violada, então a boa formação (harmonia) da estrutura é diminuída por C_x .

A HG diferencia-se essencialmente da OT no processo de avaliação do(s) candidato(s) ótimo(s) (harmônicos). Enquanto na OT algumas violações não são determinantes para a seleção do *output*, na HG **todas** as violações contribuem para a harmonia de cada candidato na gramática, dados os pesos numéricos atribuídos às restrições. Para cada candidato, a harmonia é definida pelo negativo da soma dos pesos das restrições violadas multiplicadas pelo número de marcas de violação. O candidato ótimo é aquele cujo valor de harmonia é mais alto (menos negativo). Essa interação é demonstrada no *tableau*, representado na tabela 2:

Output/Restrições	(40) Restrição A	(30) Restrição B	(15) Restrição C	H
☞ [Output 1]	*		*	-55
[Output 2]		***		-90

Tabela 2: Exemplo de *tableau* na Gramática Harmônica (Azevedo; Matzenauer; Alves, 2013: 220)

Vemos que [Output 1] é o candidato mais harmônico nessa gramática, já que ele possui o maior valor de harmonia. Assim, para [Output 1] temos $-(40 \cdot 1 + 15 \cdot 1) = -55$ e para [Output 2] temos $-(30 \cdot 3) = -90$. Se o mesmo *tableau* fosse avaliado através da OT padrão, o resultado seria oposto: o candidato ótimo seria [Output 2], pois [Output 1] violou a restrição mais alta no ranqueamento (Restrição A). As violações incorridas nas Restrições B e C não desempenhariam papel algum nessa gramática.

Há um algoritmo de aprendizagem gradual que opera conforme o modelo harmônico, comumente chamado de GLA-HG, que pode ser executado através do *software Praat* (Boersma; Weenink, 2015). Tal algoritmo pode ser entendido como os componentes GEN e EVAL da GU, constituindo-se como uma possibilidade de representação do processo de aquisição variável de fenômenos linguísticos diversos. A

simulação da aquisição ocorre através da movimentação das restrições linguísticas em direção à forma alvo da aprendizagem. Essa movimentação é captada pelo valor de referência atribuído a cada restrição e pelo valor de seleção, correspondente a diferentes momentos de avaliação (fala) dos aprendizes. A esses são adicionados outros valores numéricos - ruído e plasticidade -, valores *default* estabelecidos pelo programa. A variação, por sua vez, é verificada através da distância inferior a 10 pontos entre as restrições em uma escala contínua.

No contexto de pesquisa linguística brasileira, são poucos os trabalhos que analisam dados de aquisição de língua estrangeira através da HG. Alves (2010) apresentou a convergência da simulação realizada e discutiu o papel do mecanismo de Conjunção Local (Smolensky, 1995) na explicação da emergência de determinadas gramáticas. Azevedo (2011) comparou simulações entre GLA-OT e GLA-HG, confirmando a eficiência de ambos os modelos para a formalização de gramáticas categóricas e variáveis, destacando o caráter cumulativo das restrições na gramática HG. Alves, Matzenauer e Azevedo (2013) também demonstraram a eficácia do GLA-HG para o modelamento gramatical de LE, destacando o caráter mais econômico e formalmente mais simples da HG quando comparada à OT, uma vez que pode dispensar certas restrições para a emergência das formas de superfície analisadas. Os três trabalhos sugerem a necessidade de se avançar na discussão sobre algoritmos de aprendizagem no que diz respeito às concepções de linguagem subjacentes a cada um deles e, em consequência, às hipóteses sobre a distribucionalidade (ou não) do processamento linguístico. Tais questões não serão abordadas aqui, uma vez que se distanciam do objetivo proposto ao presente artigo neste momento.

Mais recentemente, Gutierres (2016) utilizou o algoritmo estocástico da OT e também o algoritmo ORTO, de Dornelles Filho (2014), para testar a capacidade de convergência de cada modelo, obtendo resultados positivos. Gutierres e Azevedo (2016) realizaram simulações com o ORTO e o GLA-HG a partir dos dados de Gutierres (2016), e também obtiveram sucesso na formalização das gramáticas nos dois algoritmos. A análise com o ORTO, de funcionalidade bastante semelhante ao GLA-HG, será apresentada a seguir.

2. FORMALIZAÇÃO GRAMATICAL

2.1 ORTO AJUSTE PARAMÉTRICO

O ORTO Ajuste Paramétrico (Dornelles Filho, 2014) é um algoritmo de ordenação de restrições cujo mecanismo de seleção de candidatos é feito pela gramática harmônica. Para modelar matematicamente a **variabilidade** das formas vencedoras (*outputs*), a abordagem é probabilística. A cada restrição é atribuído um **valor de referência** (μ_i) em uma escala contínua de valores. No momento da avaliação das formas candidatas, os valores de referência são perturbados por um ruído aleatório com distribuição de probabilidade normal de média 0 e variância 1. O novo valor é dito **valor de seleção**. A **harmonia** de cada candidato é a soma dos valores de seleção das restrições violadas multiplicadas pelo número de marcas de violação. Assim, as harmonias dos candidatos são variáveis aleatórias e a probabilidade de um candidato ser vencedor é a probabilidade de sua harmonia ser **menor** que as harmonias dos demais candidatos. Com base nessa probabilidade é possível prever a **frequência esperada** (FE) de realizações de cada possível *output*. Um algoritmo realiza um ajuste determinístico dos valores de referência das restrições (parâmetros μ_i), buscando-se minimizar a diferença entre as frequências de realização **observadas** (FO) no *corpus* e as frequências esperadas pelo modelo (resíduo de aderência).

O ORTO (implementado na linguagem MATLAB) é alimentado por um *script* que contém todas as informações de base necessárias ao algoritmo. Além de ordenamentos gramaticais, oferece a possibilidade de comparação entre as frequências observadas, valores constatados pela frequência de realização dos dados no *corpus*, informados pelo analista, e as frequências esperadas, valores estimativos previstos pelo algoritmo. Uma boa ordenação das restrições deve produzir um conjunto de FE compatível ao conjunto de FO: quanto mais próximos os valores das duas frequências, mais confiável é o ordenamento proposto.

A novidade do ORTO é a apresentação de uma **matriz de dominância**. Essa matriz apresenta explicitamente as **probabilidades de dominância** entre as restrições, ou seja, a probabilidade de que o ponto de seleção de uma restrição C1 seja superior ao ponto de seleção de uma restrição C2, conforme o ordenamento dado pelo algoritmo. Essa abordagem cria uma ‘métrica’ objetiva para comparar a ‘distância’ entre as restrições. O ORTO usa as frequências observadas como informação de en-

trada, com base em que o ordenamento de restrições é induzido. Assim, fornece informação sobre a probabilidade de sobreposição de restrições e, conseqüentemente, a probabilidade de variação entre os candidatos a *output*, conferindo maior objetividade ao ordenamento executado.

As probabilidades de dominância entre as restrições são expressas no intervalo numérico de 0 (zero) a 1 (um). A dominância é (arbitrariamente) dita *fraca* se esse valor encontrar-se entre 0,5 e 0,6 (segunda linha da tabela 3); *média*, se estiver entre 0,6 e 0,9 (terceira linha da tabela); *forte*, entre 0,9 e 1,0 (quarta linha da tabela).

Grau de dominância	Notação	$P(R_i > R_j)$	$\mu_i - \mu_j$
Fraca	$C_i \geq C_j$	[0,5; 0,6)	[0,0000; 0,3583)
Média	$C_i > C_j$	[0,6; 0,9)	[0,3583; 1,8124)
Forte	$C_i \gg C_j$	[0,9; 1,0)	[1,8124; $+\infty$)

Tabela 3: Graus de dominância de restrições na matriz (Dornelles Filho, 2014: 26)

Simuladores de aprendizagem como o ORTO e o GLA, que permitem modelar a aquisição fonológica como um processo desenvolvimental e variável, estabelecem a noção de continuidade na gramática, já que sistemas linguísticos em desenvolvimento (como o da criança, ou o do aprendiz de LE) e sistemas linguísticos plenos (como o de qualquer falante nativo) são regidos pelos mesmos princípios e unidades de representação (Boersma; Levelt, 2004).

A seção 2.2 exemplifica a simulação da aquisição da nasal velar por aprendizes brasileiros de inglês. A análise completa desse processo, que inclui também exame variacionista do *corpus*, pode ser conferida integralmente na tese de Gutierrez (2016). É importante ressaltar que os dados apresentados neste texto contêm correções e atualizações em relação àqueles apresentados originalmente na tese.

2.2 AQUISIÇÃO VARIÁVEL DA NASAL VELAR: FORMALIZAÇÃO PELO ORTO

Com o propósito de introduzir as funcionalidades de um novo algoritmo de aprendizagem vinculado à HG, apresentamos as principais etapas de execução do ORTO. Para esta análise, está sendo utilizado o *corpus* de Gutierrez (2016), sobre a aquisição variável da nasal velar em inglês por falantes brasileiros.

Inicialmente, as informações linguísticas informadas ao programa no *script* formam um quadro-síntese, como mostra a tabela 4:

Grupo	Candidato	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	F _O
1	1A		*			37
	1B			*		63
	1C	*			*	0
	1D				**	0

Tabela 4: Quadro-síntese dos dados linguísticos (Gutierrez, 2016: 166)

Os candidatos a *output* são 1A [ŋ], 1B [ɲ], 1C [ŋg] e 1D [ŋgɪ] - formas linguísticas sufixadas por -ing, atestadas empiricamente na análise variacionista realizada (Gutierrez, 2016). As restrições linguísticas são identificadas como C1 (*CODA(stop)), C2 (AGREE(place)VN#), C3 (DEP) e C4 (IDENT(nasal)): C1 proíbe codas com consoantes oclusivas, C2 exige que vogal e nasal em fim de palavras contenham o mesmo ponto de articulação, C3 coíbe inserção de segmentos no *output* e C4 demanda que a nasal no *input* tenha os mesmos traços que a nasal do *output*.

Nos dados dos aprendizes, a frequência observada (FO) de realização da nasal em variação é de 37 velar, 63 palatal, 0 (zero) velar com oclusiva e 0 (zero) velar com oclusiva + vogal epentetizada. Aos candidatos 1C e 1D é atribuída frequência zero, pois, à semelhança do que ocorre em português, a realização da nasal velar pelos aprendizes é automaticamente desencadeada por assimilação de ponto da oclusiva seguinte, sem variação. Os asteriscos (*) indicam marcas de violação dos candidatos em cada uma das restrições, ainda não ordenadas de modo a constituírem uma gramática (apenas pela ordem em que foram carregadas no programa).

Ao rodar o *script* contendo os dados linguísticos, são apresentados o ordenamento das restrições, os valores de referência (valores de ranqueamento, anteriores à adição do resíduo de aderência = ruído, no GLA), a matriz de dominância e o *tableau* que formaliza a gramática do aprendiz, contendo informações sobre a frequência observada, advinda dos dados dos aprendizes, frequência esperada, calculada pelo algoritmo, e valores de referência.

O algoritmo gerou o seguinte ordenamento:

C1 >> C2 >> C4 >> C3
(M) >> (M) >> (F) >> (F)

*CODA(stop) >> AGREE(place)VN# >> IDENT(nasal) >> DEP

e as seguintes estimativas para valores de referência (ranqueamento) das restrições:

$$\mu_1 = 102.1729 \quad \mu_2 = 100.3770 \quad \mu_4 = 100.0000 \quad \mu_3 = 99.9077.$$

Em uma escala com as restrições dispostas conforme seus valores de referência, a representação pode ser ilustrada da seguinte forma:

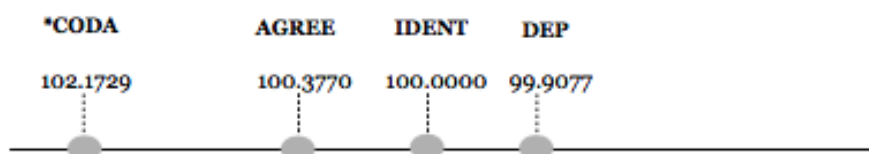


Figura 1: Representação dos valores de referência na gramática (Gutierrez, 2016: 167)

A probabilidade de dominância entre as restrições é estimada pelo ORTO por uma **matriz de dominância**.

$$D = \begin{bmatrix} 0.5000 & \mathbf{0.8979} & 0.9378 & 0.9454 \\ 0.1021 & 0.5000 & \mathbf{0.6051} & 0.6300 \\ 0.0622 & 0.3949 & 0.5000 & \mathbf{0.5260} \\ 0.0546 & 0.3700 & 0.4740 & 0.5000 \end{bmatrix}$$

Figura 2: Matriz de dominância das restrições linguísticas (Gutierrez, 2016: 168)

Cada valor na interseção de uma linha e coluna corresponde a uma probabilidade de dominância. O valor localizado na linha i e coluna j corresponde à probabilidade de dominância da i -ésima restrição (ordenada) sobre a j -ésima restrição (ordenada), ou seja, a probabilidade de que o valor de seleção da i -ésima restrição (ordenada) seja superior ao valor de seleção da j -ésima restrição (ordenada). Por exemplo, o valor 0,6300 (linha 2, coluna 4) corresponde à probabilidade de que a restrição AGREE (C2, 2ª posição no *ranking*) domine a restrição DEP (C3, 4ª posição no *ranking*). A tabela fornece as probabilidades de dominância entre todas as restrições. No entanto, do ponto de vista prático, pode ser mais útil avaliar a dominância entre duas restrições adjacentes. Os valores negritados são indicativos das probabilidades de que uma dada restrição domina a restrição imediatamente à sua direita (imediatamente seguinte no ordenamento).

Considerando-se o ordenamento CODA>>AGREE>>IDENT>>DEP, têm-se as seguintes estimativas de dominância: $P(\text{CODA}>>\text{AGREE}) = 0.8979$, (ii) $P(\text{AGREE}>>\text{IDENT}) = 0.6051$ e (iii) $P(\text{IDENT}>>\text{DEP}) = 0.5260$ deste modo lidas:

(i) a probabilidade de a restrição C1 (*CODA(stop)) dominar a restrição C2 (AGREE(place)VN#) é de 0.8979, o que, segundo os graus de dominância do algoritmo, é uma probabilidade *média* (quase *forte*);

(ii) a probabilidade de a restrição C2 (AGREE(place)VN#) dominar a restrição C4 (IDENT(nasal)) é de 0.6051, o que, segundo os graus de dominância do algoritmo, é uma probabilidade *média*; e

(iii) a probabilidade de a restrição C4 (IDENT(nasal)) dominar a restrição C3 (DEP) é de 0.5260, o que, segundo os graus de dominância do algoritmo, é uma probabilidade *fraca*.

A matriz de dominância fornece uma compreensão mais detalhada da gramática em questão. As relações de dominância CODA>>AGREE e AGREE>>IDENT são ditas ‘médias’, o que indica que essas restrições serão provavelmente mantidas no ordenamento proposto. Isso informa que a gramática em aquisição ainda é dominada por Marcação, estando mais próxima da língua materna do que da língua estrangeira alvo. Já a probabilidade de dominância expressa por IDENT>>DEP é ‘fraca’, o que reitera, por um lado, a menor probabilidade de o falante estabelecer uma relação de identidade entre as nasais de *input* e *output*, responsável pela produção da nasal velar; por outro lado, a probabilidade de aumento do valor de seleção de DEP sugere que o aprendiz tende a alternar a realização da nasal alvo (velar) com formas linguísticas seguidas de consoante oclusiva com ou sem epêntese, já que DEP permite a inserção de segmentos no *output*.

De acordo com o ordenamento proposto pelo algoritmo, a gramática do aprendiz é obtida e formalizada pelo *tableau* mostrado na tabela 5:

Grupo	Candidato	C_1	C_2	C_4	C_3	F_O	F_E	H
1	1A		*			37	37,00	100.3770
	1B				*	63	63,00	99.9077
	1C	*		*		0	0,00	202.1729
	1D			**		0	0,00	200.0000

Tabela 5: Gramática da aquisição variável da nasal velar (Gutierrez, 2016: 169)

A ‘métrica’ dos valores de harmonia não é a mesma que os valores de referência das restrições; portanto, a análise da ‘otimidade’ dos candidatos é feita pela análise das frequências esperadas: os candidatos mais harmônicos (1B e 1A) possuem frequência esperadas não nulas e, por esse motivo, são variáveis nesta gramática. As frequências esperadas dos candidatos 1D e 1C são nulas, evidência de que, nesta gramática, não constituem boas formas de *output*. O *tableau* também informa que os valores de frequência observada correspondem à frequência esperada nos dados. Nesta gramática, FO=FE, o que indica uma excelente convergência do ORTO para o modelamento proposto. Quando as frequências esperadas são idênticas às frequências observadas, o resíduo de aderência, medida que avalia essa aproximação, é nulo (ou praticamente nulo devido à erro de arredondamento computacional). No caso, temos $RA = 5.8647e-13$ (informação disponível no *script* da rodada), o que reitera o caráter explicativo do modelo quanto aos resultados fornecidos.

O *tableau* também apresenta os valores de harmonia dos candidatos. O candidato 1A contém apenas uma marca de violação (*) na restrição C2, cujo valor de referência é 100.3770, ficando, desse modo, com o mesmo valor de harmonia. Já o candidato 1D incorre duas violações (**) na restrição C4, sendo o seu valor de harmonia (200.0000) a soma das duas marcas de violação nas restrições incorridas (100.0000+100.0000).

Como se observa na escala representada na figura 3, os candidatos 1B (palatal) e 1A (velar), cujos valores de harmonia são próximos entre si, são os *outputs* variáveis da gramática. São mais harmônicos pois possuem o menor valor de harmonia.

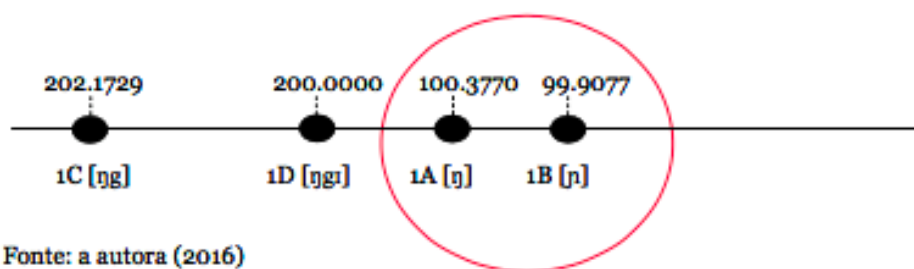


Figura 3: Representação dos valores de harmonia da gramática (Gutierrez, 2016: 171)

Na escala da figura 3, o candidato menos harmônico e com menor chance de ser escolhido (produzido) é o candidato 1C, que possui o maior valor de harmonia, seguido do candidato 1D. Esse resultado está em conformidade com a probabilidade fraca (0.5260) de $C4(IDENT) \gg C3(DEP)$, informada pela matriz de dominância, e

também com o fato de que a gramática em aquisição está mais próxima da LM do que da LE, já que, em uma provável disputa entre tais candidatos, 1D venceria, pois é mais harmônico que 1C. Esse candidato obedece a uma condição da coda do português que não licencia consoantes oclusivas no final das palavras, sendo a epêntese a estratégia de reparo silábico escolhida. Os candidatos 1A e 1B, situados em posições menos rígidas na escala - mais à direita - são as formas linguísticas mais harmônicas e em variação, já que a diferença entre seus valores de harmonia é menor que 1, e apresentam-se bastante distanciados dos valores de harmonia dos demais candidatos.

A formalização da gramática da aquisição da nasal velar por um grupo de aprendizes brasileiros de inglês através do ORTO Ajuste Paramétrico mostrou-se convergente. O algoritmo foi capaz de demonstrar as restrições que estão em jogo na produção das formas variáveis e, através dos pesos numéricos das restrições, evidenciar a gradualidade da aquisição de uma língua estrangeira. Os resultados positivos desta análise e de outras análises realizadas com o ORTO (Gutierrez 2016; Azevedo e Gutierrez, 2016) sugerem a testagem do programa com outros *corpora* e a sua paulatina incorporação na área de estudos de aquisição formal de LE, bem como uma discussão acerca de concepções de língua e processamento linguístico que estão incorporados à seleção de diferentes algoritmos.

3. CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo foi o de apresentar uma nova alternativa em termos de algoritmo de aprendizagem para a formalização da aquisição variável de fenômenos linguísticos em língua estrangeira. O ORTO Ajuste Paramétrico foi eficaz quanto ao modelamento da aquisição fonológica variável em termos de cálculo probabilístico da harmonia dos candidatos. Mostrou-se adequado na seleção dos *outputs* variáveis com as nasais palatal e velar: as hipóteses de representação mental da aquisição de LE refletem as produções linguísticas atestadas empiricamente, o que é também confirmado pelo ajuste paramétrico de FE e FO no algoritmo. Além disso, reiterou a característica “marcada” das gramáticas em aquisição (em conformidade aos estudos citados no decorrer deste artigo) e apresentou informações probabilísticas adicionais (matriz de dominância) que corroboram a interpretação do processamento da aquisição variável da nasal velar, conferindo maior objetividade à interpretação dos resultados. O ORTO contém um *script* de carregamento acessível ao linguista que, em

grande parte dos casos, não possui conhecimento tão aprofundado de linguagem computacional. O *software* é livre e está disponível *online*; a única desvantagem, por ora, é a necessidade de instalação da linguagem MATLAB para executar o programa, que não é gratuita.

Algoritmos probabilísticos demonstram lidar bem com a variação e com os diferentes estágios desenvolvimentais do processo de aprendizagem. São compatíveis à noção primária de processamento gramatical da OT que, segundo Bonilha (2005: 55), originou-se de preceitos conexionistas da HG (Legendre; Miyata; Smolensky, 1990a, b). A atribuição de pesos numéricos às restrições linguísticas universais e o cálculo de harmonia das possibilidades de *output* parecem ser vantagens dos algoritmos vinculados à OT e à HG. O ORTO é uma ferramenta capaz de confirmar ou refutar análises realizadas com algoritmos similares, tradicionalmente utilizados para a formalização de sistemas linguísticos e, eventualmente, substituí-los. Ademais, apresenta-se como uma possibilidade de repensar pressupostos basilares das teorias subjacentes ao seu funcionamento, em especial a Gramática Harmônica, uma vez que implica discutir (i) a natureza dos componentes da gramática neste modelo, (ii) pressuposições acerca do processamento linguístico e (iii) concepções de língua, gramática e cognição. Trabalhos futuros nessa direção são necessários para fomentarem o diálogo entre a execução do algoritmo na simulação da aprendizagem e as assunções teóricas decorrentes do modelo utilizado, contribuindo para a compreensão do processamento de aquisição de LE e para o desenvolvimento das teorias linguísticas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Ubiratã Kickhöfel. *A Aquisição das Sequências Finais de Obstruintes do Inglês (L2) por Falantes do Sul do Brasil: análise via Teoria da Otimidade*. 2008. 337 f. Tese (Doutorado em Linguística). Faculdade de Letras - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- ALVES, Ubiratã Kickhöfel. Os Dados de Aquisição de L2 e sua Relação com a Teoria Fonológica: reflexão a partir de uma análise via TO. In: FERREIRA-GONÇALVES, Giovana; KESKE-SOARES, Márcia; BRUM-DE-PAULA, Mirian Rose. (Orgs). *Estudos em Aquisição Fonológica*, Santa Maria, v. 2, p. 165-180, 2009.
- ALVES, Ubiratã Kickhöfel. Teoria da Otimidade, Gramática Harmônica e Restrições Conjuntas. *Alfa*, São Paulo, v. 54, n.1, p. 237-263, 2010.
- ALVES, Fernando Cabral; LUCENA, Rubens Marques de. Aquisição da lateral silábica do inglês: uma análise via teoria da otimidade estocástica. *Letrônica*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 795-820, jul./dez., 2014.
- AZEVEDO, Roberta Quintanilha. *A epêntese no português brasileiro (L2), em segmentos plosivos em codas mediais, por falantes nativos do espanhol colombiano (L1): uma análise via Teoria da Otimidade Estocástica e Gramática Harmônica*. 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, 2011.

- AZEVEDO, Roberta Quintanilha; ALVES, Ubiratã Kickhöfel; MATZENAUER, Carmem Lúcia. A Epêntese na Produção de Plosivas em Codas Mediais do Português Brasileiro por Colombianos: uma abordagem com base em restrições. (jan./jun. 2012). *Letras & Letras*, Uberlândia, v.28, n.1, p.327-345, 2012.
- AZEVEDO, Roberta Quintanilha; MATZENAUER, Carmem Lúcia; ALVES, Ubiratã Kickhöfel. A produção da vogal epentética no português brasileiro por colombianos: uma análise via gramática harmônica. *Organon*, Porto Alegre, v. 28, n. 54, p. 217-239, jan./jun. 2013.
- BATTISTI, Elisa. A representação da nasal em coda silábica e os ditongos nasais do português. *Anais do XVII Congresso Internacional Asociación de Lingüística y Filología de América Latina (ALFAL 2014)*. João Pessoa - Paraíba, Brasil. 2014.
- BONILHA, G. F. *Aquisição Fonológica do Português Brasileiro: uma abordagem conexionista da Teoria da Otimidade*. 2005. 389 f. Tese (Doutorado em Linguística Aplicada) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BOERSMA, Paul; HAYES, Bruce. *Empirical Tests of the Gradual Learning Algorithm*. 2001. Disponível em: <http://www.linguistics.ucla.edu/people/hayes/GLA/gla.pdf>, acesso: 23-11-16.
- BOERSMA, Paul; WEENINCK, David. *Praat – Doing Phonetics by Computer*. 2015. Disponível em: http://www.fon.hum.uva.nl/praat/download_win.html, acesso: 23-11-16.
- BOERSMA, Paul; LEVELT, Claartje. Optimality Theory and phonological acquisition. *Annual Review of Language Acquisition* 3 (2004), 1–50. 2004.
- CAMARA JR., Joaquim Mattoso. *Estrutura da língua portuguesa*. Petrópolis: Vozes, 2005 [1970].
- DORNELLES FILHO, Adalberto A. *Algoritmo para ordenação de restrições na teoria da otimidade*. TCC de especialização em métodos quantitativos: Estatística e matemática aplicadas, PUC-RS, Porto Alegre, RS, 2014. Orientador: Filipe Jaeger Zaballa. Disponível em <https://sites.google.com/site/aadornellesf/>, acesso: 23-11-16.
- GUTIERRES, Athany. *Variação na aquisição fonológica: análise da produção da nasal velar em inglês (L2)*. Tese (Doutorado em Letras) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- GUTIERRES, Athany; AZEVEDO, Roberta Quintanilha. *Algoritmos de aprendizagem e variação linguística: a aquisição da nasal velar por aprendizes de inglês como língua estrangeira*. VIII Seminário Nacional de Linguagem e Ensino (SENALE) - comunicação oral não publicada. UCPEL, 16-11-16.
- LABOV, William. *Principles of Linguistic Change*. Vol. 1: Internal Factors (Language in Society). Philadelphia: Blackwell Publishers, 1994.
- LABOV, William. *Principles of Linguistic Change*. Vol. 2: Social Factors (Language in Society). Philadelphia: Blackwell Publishers, 2001.
- LEGENDRE, Geraldine; MIYATA, Yoshiro; SMOLENSKY, Paul. Harmonic Grammar - A Formal Multi-Level Connectionist Theory of Linguistic Well-Formedness: Theoretical Foundations. 1990a. CU-CS-465-90 (1990a). *Computer Science Technical Reports*. Paper 447. Disponível em: http://scholar.colorado.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1446&context=csci_techreports, acesso: 23-11-16.
- LEGENDRE, Geraldine; MIYATA, Yoshiro; SMOLENSKY, Paul. *Can Connectionism Contribute to Syntax? Harmonic Grammar, with an application*. 1990b. Disponível em: <http://www.colorado.edu/ics/sites/default/files/attached-files/90-12.pdf>, acesso: 23-11-16.
- PATER, Joe. Weighted Constraints in Generative Linguistics. *Rutgers Optimality Archive (ROA)*, n.982, 2009. Disponível em: <http://roa.rutgers.edu/article/view/1012>, acesso: 23-11-16.
- PRINCE, Alan; SMOLENSKY, Paul. Optimality Theory: constraint interaction in generative grammar. 1993. In: McCARTHY, John. *Optimality Theory in Phonology*. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
- ROACH, Peter. *English Phonetics and Phonology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- SMOLENSKY, Paul. On the Internal Structure of the Constraint Component of UG. Colloquium presented at the University of California, Los Angeles. *Rutgers Optimality Archive (ROA)*, n.086, 1995. Disponível em: <http://roa.rutgers.edu/files/86-0000/86-0000-SMOLENSKY-o-o.PDF>, acesso: 26-02-17.

SMOLENSKY, Paul; LEGENDRE, Geraldine. *Harmonic Mind: From Neural Computation to Optimality-theoretic Grammar*. Cambridge: MIT, 2006.

Recebido no dia 29 de novembro de 2016.
Aprovado para publicação no dia 08 de março de 2017.