

Aprendizado de Máquina em Linguagem Natural

Beatriz Albiero

<https://github.com/beatrizalbiero>

Felipe Salvatore

<https://felipessalvatore.github.io/>

November 21, 2017

USP:University of São Paulo

Conceitos básicos

Um algoritmo de **aprendizado de máquina**
é um algoritmo que é capaz
de usar dados para
realizar uma tarefa

Regressão

$\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$



y_1, \dots, y_N

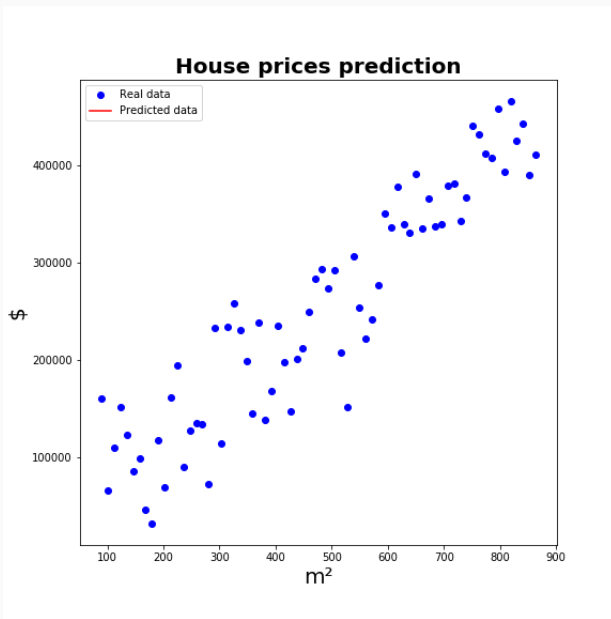
Classificação

$\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$

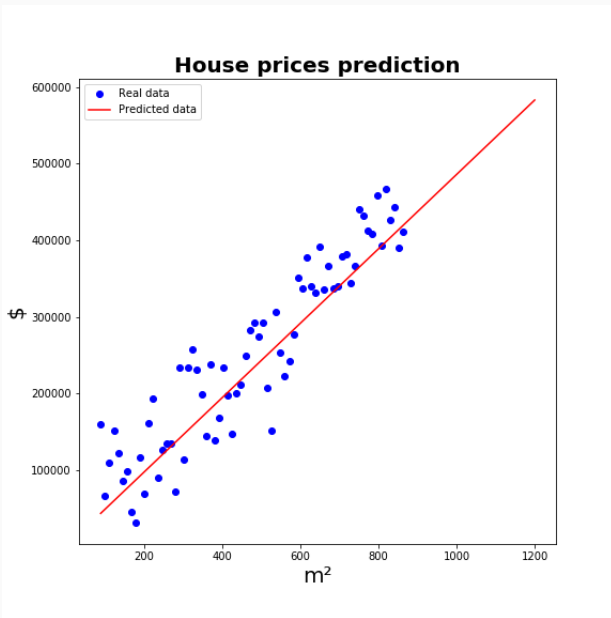


L_1, \dots, L_N

Regressão



Regressão



Classificação: Fashion MNIST [7]



→ $y = \text{camisa}$



→ $y = \text{vestido}$



→ $y = \text{bolsa}$



→ $y = \text{tênis}$

Aprendizado por redes neurais

O que sabemos sobre o cérebro:

- neurônios em rede
- neurônios emitem sinais elétricos (disparam)
- dendritos e axônios

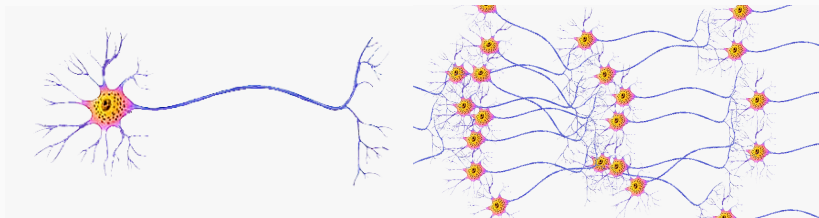
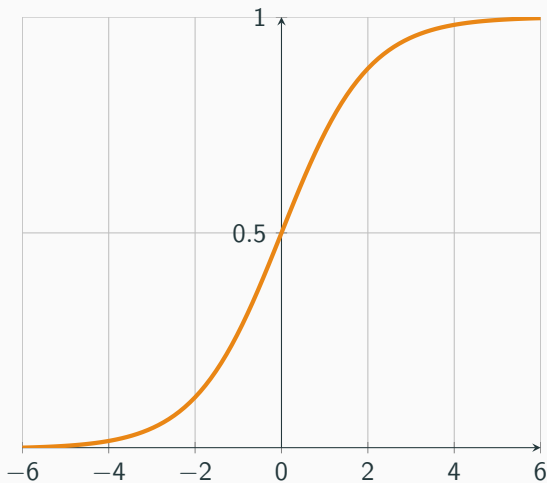


imagem retirada de [1]

Traduzindo para o modelo de redes neurais artificiais:

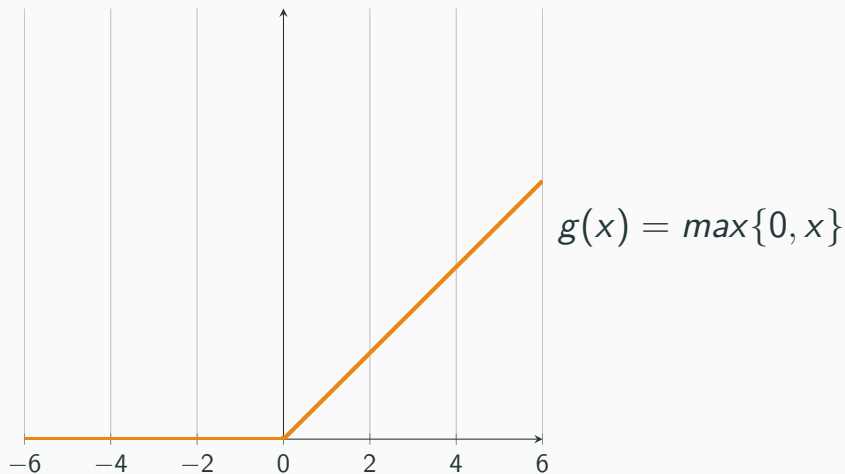
- Energia recebida: **Inputs**
- Energia enviada: **Output**
- Força entre uma conexão e outra: **Peso (θ)**
- Carga mínima: **Threshold**
- Uma função que recebe um input e emite um output mas leva em consideração um threshold mínimo: **Função de ativação**

Função de ativação: função sigmoide

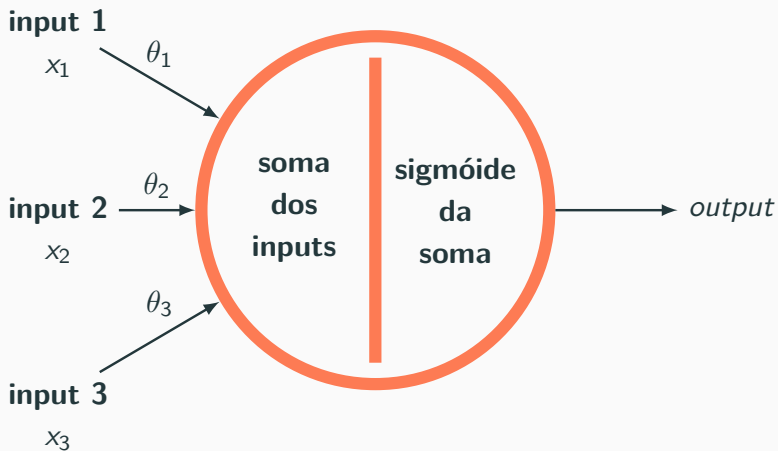


$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

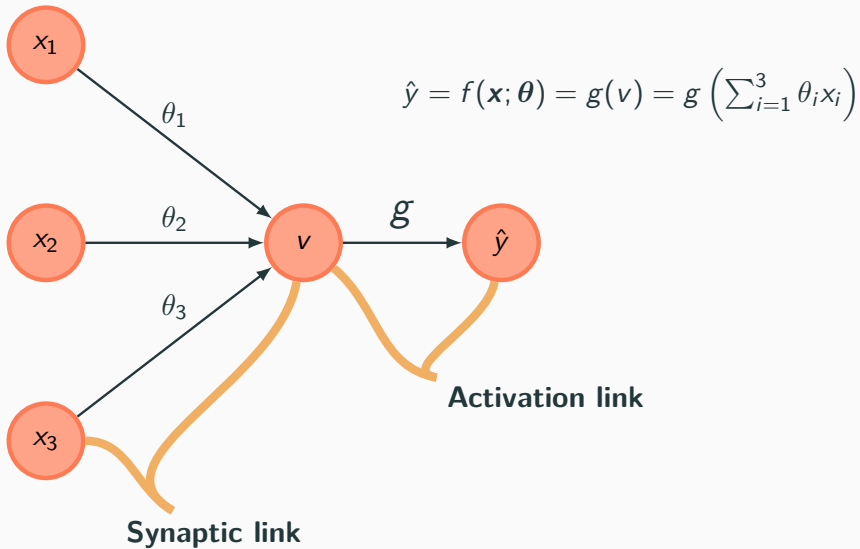
função de ativação: ReLU (Rectified Linear Unit)



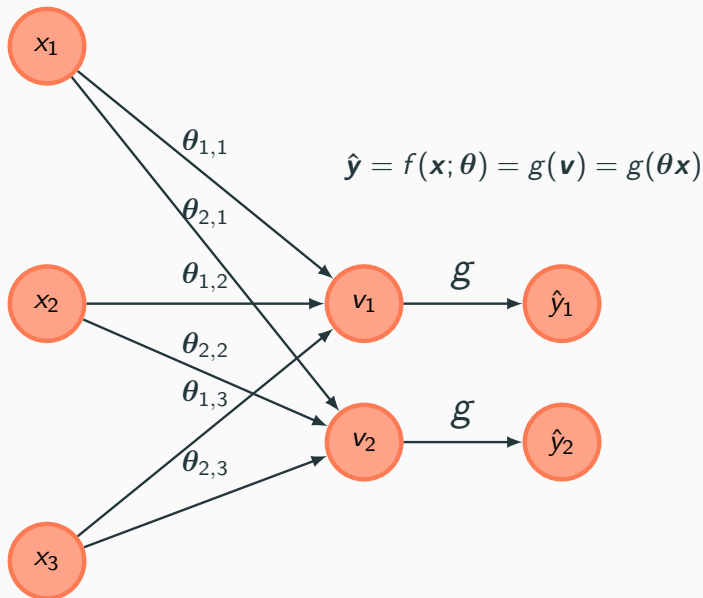
Perceptron



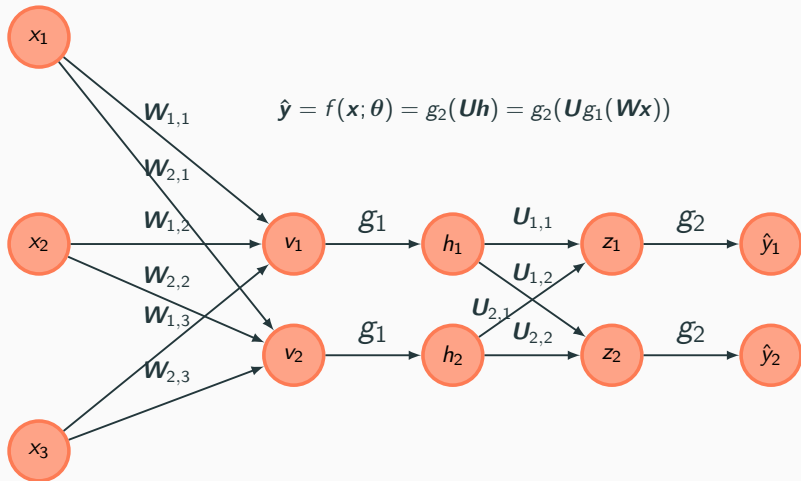
Perceptron



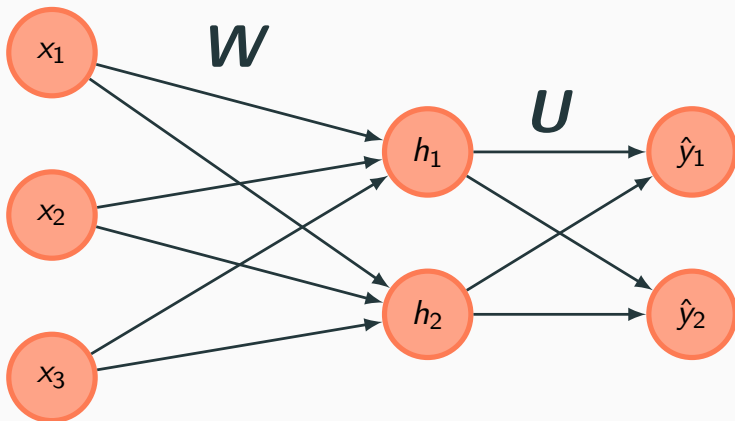
Multi layer perceptron – Feedforward neural network



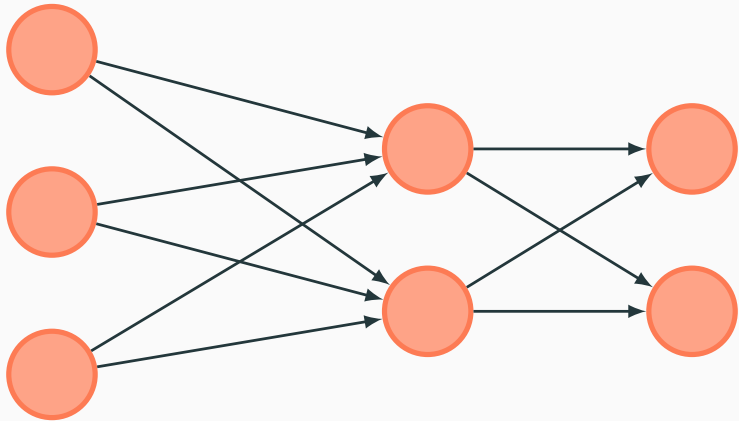
Multi layer perceptron – Feedforward neural network



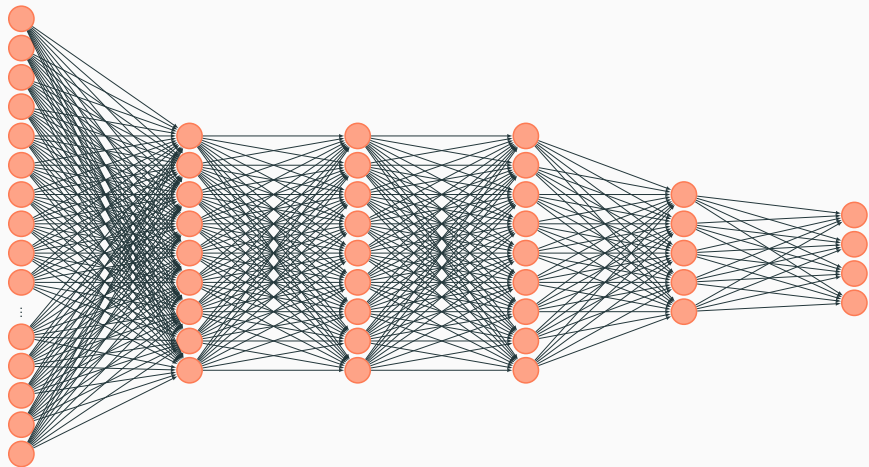
Multi layer perceptron – Feedforward neural network



Multi layer perceptron – Feedforward neural network



Deep feedforward network



Features são características ou traços do objeto do aprendizado.

Features são características ou traços do objeto do aprendizado.

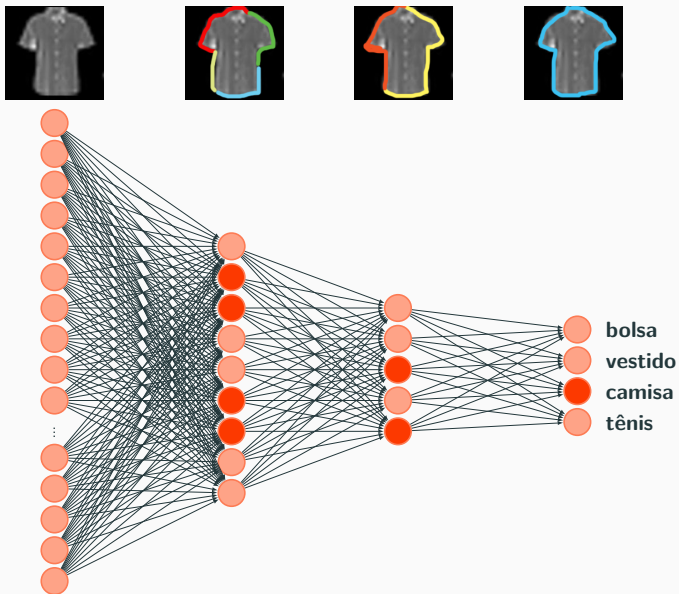
O aprendizado irá acontecer a partir do **reconhecimento de padrões** entre **features**.

Features são características ou traços do objeto do aprendizado.

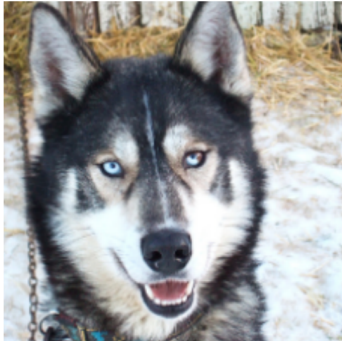
O aprendizado irá acontecer a partir do **reconhecimento de padrões** entre **features**.

Treinaremos o modelo a **ativar as mesmas unidades simultaneamente** quando diante de um **determinado padrão**.

Classificação de imagens



Classificação de imagens



(a) Husky classified as wolf

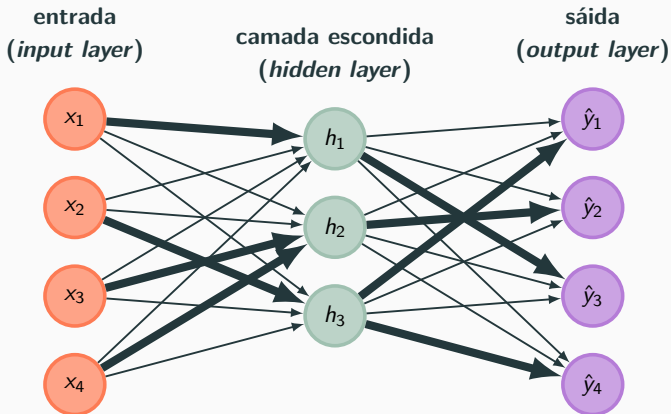


(b) Explanation

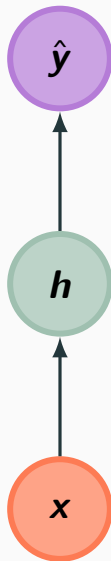
Figure 11: Raw data and explanation of a bad model's prediction in the "Husky vs Wolf" task.

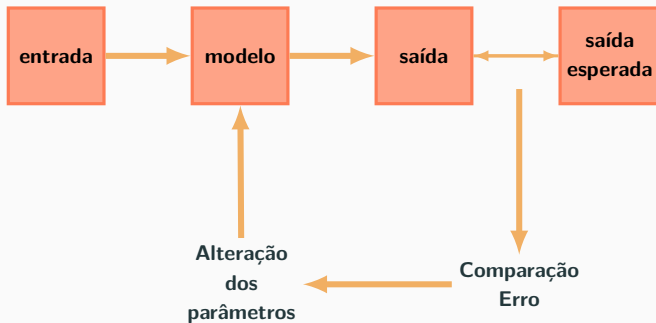
imagem retirada de [5]

Feedforward neural network (rede neural)

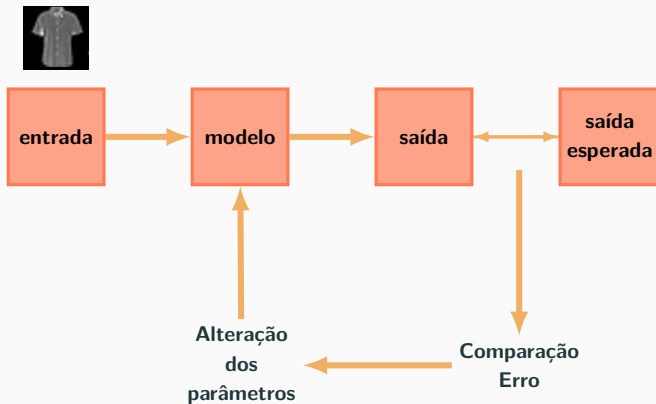


Versão resumida de uma rede neural

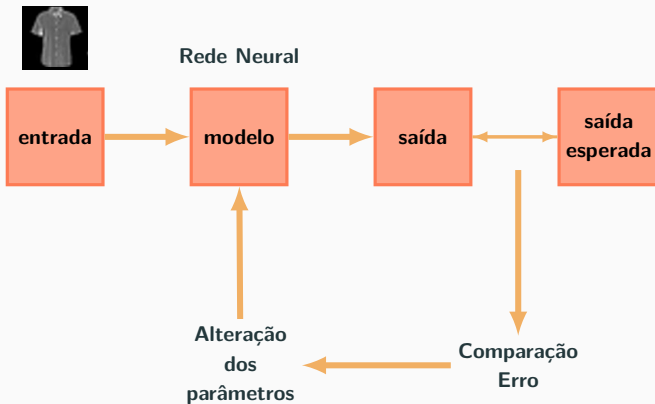




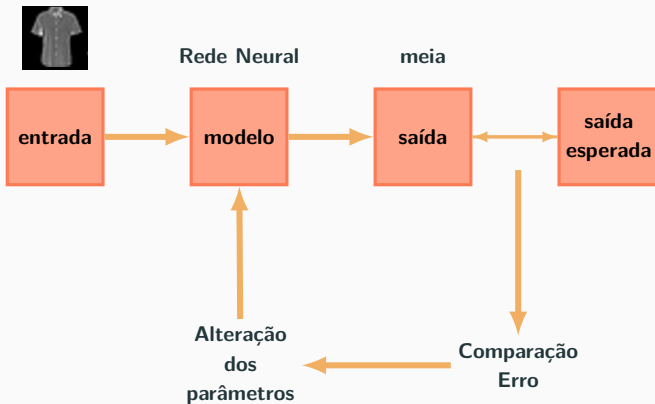
Treinamento



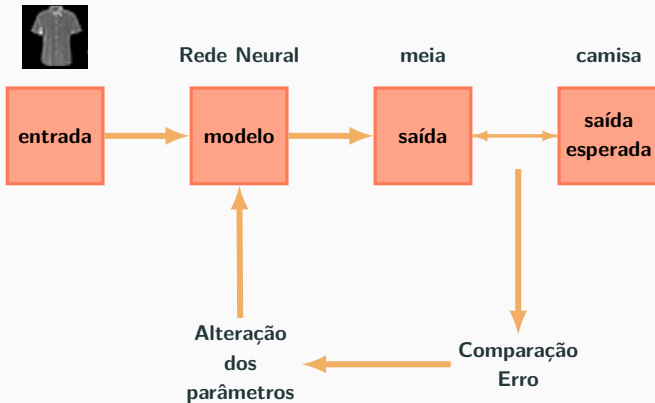
Treinamento



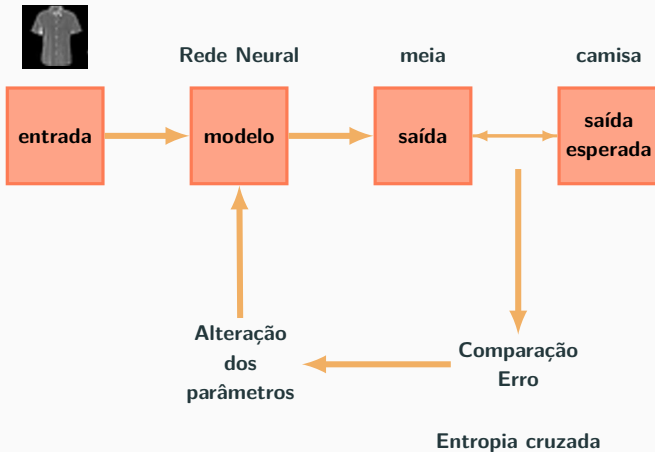
Treinamento



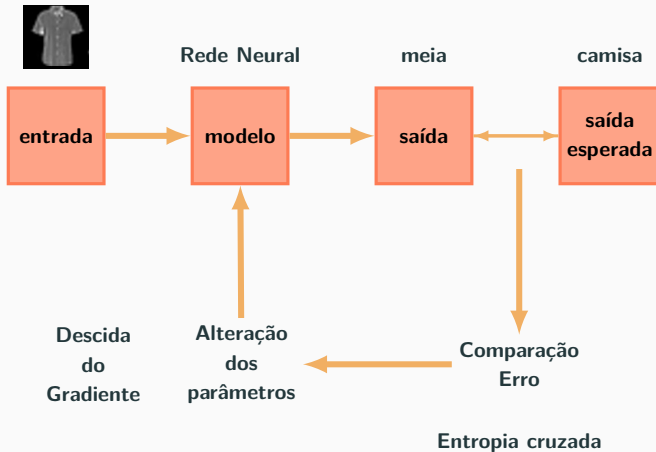
Treinamento



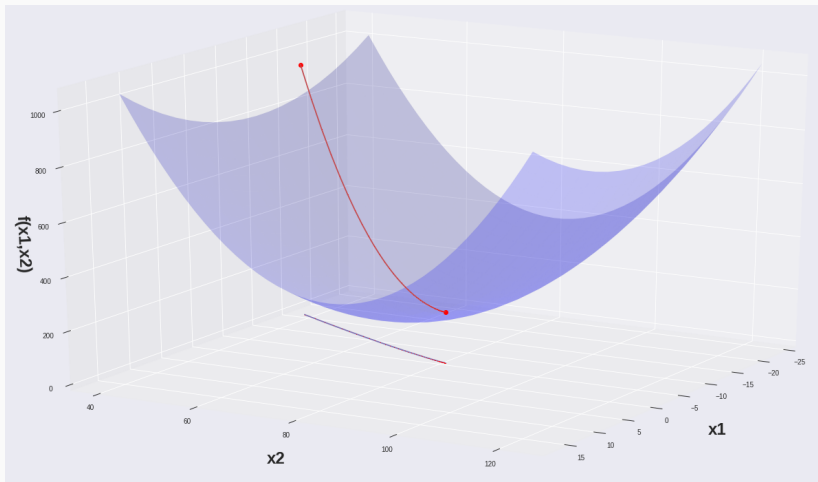
Treinamento



Treinamento



Descida do gradiente



Aprendizado de máquina em linguística

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Problema:

- Aprendizado dos verbos "irregulares" no passado do inglês

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Problema:

- Aprendizado dos verbos "irregulares" no passado do inglês
- Famílias de verbos irregulares:

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Problema:

- Aprendizado dos verbos "irregulares" no passado do inglês
- Famílias de verbos irregulares:
 - “blow–blew, grow–grew, know–knew, throw–threw”
 - “bind–bound, find–found, grind–ground, wind–wound”
 - “drink–drank, shrink–shrank, sink–sank, stink–stank”

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Problema:

- Aprendizado dos verbos "irregulares" no passado do inglês
- Famílias de verbos irregulares:
 - “blow–blew, grow–grew, know–knew, throw–threw”
 - “bind–bound, find–found, grind–ground, wind–wound”
 - “drink–drank, shrink–shrank, sink–sank, stink–stank”
- Chomsky vs Rumelhart e McClelland

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Problema:

- Aprendizado dos verbos "irregulares" no passado do inglês
- Famílias de verbos irregulares:
 - “blow–blew, grow–grew, know–knew, throw–threw”
 - “bind–bound, find–found, grind–ground, wind–wound”
 - “drink–drank, shrink–shrank, sink–sank, stink–stank”
- Chomsky vs Rumelhart e McClelland
- Regras (Racionalismo) vs Analogias (Conexionismo)

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Exemplo de entrada \mathbf{x} e saída \mathbf{y} :

$(\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{y}^{(1)}) = (\text{begin}, \text{began}).$

$(\mathbf{x}^{(2)}, \mathbf{y}^{(2)}) = (\text{love}, \text{loved})$

$(\mathbf{x}^{(3)}, \mathbf{y}^{(3)}) = (\text{drink}, \text{drank})$

$(\mathbf{x}^{(4)}, \mathbf{y}^{(4)}) = (\text{hate}, \text{hated})$

$(\mathbf{x}^{(5)}, \mathbf{y}^{(5)}) = (\text{grow}, \text{grew})$

$(\mathbf{x}^{(6)}, \mathbf{y}^{(6)}) = (\text{bind}, \text{bound})$

$(\mathbf{x}^{(7)}, \mathbf{y}^{(7)}) = (\text{hit}, \text{hit})$

...

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

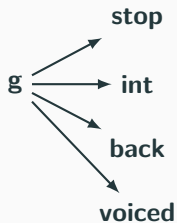
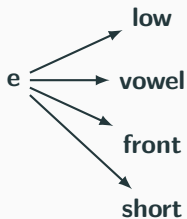
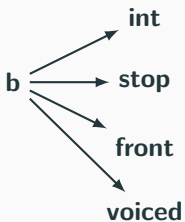
x será uma combinação de traços (features) fonológicos.

Table 1: Categorização de Fonemas em 4 dimensões simples

		Place					
		Front		Middle		Back	
		V/L	U/S	V/L	U/S	V/L	U/S
Int.	Stop	b	p	d	t	g	k
	Nasal	m	-	n	-	ŋ	-
Cont	Fric	v/D	f/T	z	s	ʒ/j	ʃ/C
	Liq/SV	w/l	-	r	-	y	h
Vowel	High	E	i	ʊ	^	U	u
	Low	A	e	ɪ	a/α	W	o

Explicando as features

Exemplo: begin (bEgiN)



Wickelfeatures

Wickelfeatures: Trigramas de features

Exemplo: begin

bEg

Egi

giN

Wickelfeatures

Wickelfeatures: Trigramas de features

Exemplo: begin

bEg

Egi

giN

[<i>int, high, int</i>]
	<i>int, vowel, int</i>	
	<i>int, front, int</i>	
	<i>int, long, int</i>	
	<i>stop, high, stop</i>	
	<i>stop, vowel, stop</i>	
	<i>stop, front, stop</i>	
	<i>stop, long, stop</i>	
	<i>⋮</i>	
	<i>voiced, front, voiced</i>	
	<i>voiced, long, voiced</i>	
]

Wickelfeatures

Wickelfeatures: Trigramas de features

Exemplo: begin

bEg

<i>int, high, int</i>
<i>int, vowel, int</i>
<i>int, front, int</i>
<i>int, long, int</i>
<i>stop, high, stop</i>
<i>stop, vowel, stop</i>
<i>stop, front, stop</i>
<i>stop, long, stop</i>
<i>⋮</i>
<i>voiced, front, voiced</i>
<i>voiced, long, voiced</i>

Egi

<i>vowel, int, vowel</i>
<i>vowel, stop, vowel</i>
<i>vowel, back, vowel</i>
<i>vowel, voiced, vowel</i>
<i>high, int, high</i>
<i>high, stop, high</i>
<i>high, back, high</i>
<i>high, voiced, high</i>
<i>⋮</i>
<i>short, int, short</i>
<i>short, voiced, short</i>

giN

<i>int, vowel, int</i>
<i>int, high, int</i>
<i>int, front, int</i>
<i>int, short, int</i>
<i>stop, vowel, nasal</i>
<i>stop, high, nasal</i>
<i>stop, front, nasal</i>
<i>stop, short, nasal</i>
<i>⋮</i>
<i>back, vowel, back</i>
<i>back, high, back</i>

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]


$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{int, vowel, int} \\ \text{int, vowel, cont} \\ \text{int, vowel, vowel} \\ \\ \text{low, int, high} \\ \text{low, int, low} \\ \\ \text{short, voiced, short} \end{array}$$

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

$$\hat{y} = \begin{bmatrix} 0.234 \\ 0.967 \\ 0.123 \\ \vdots \\ 0.152 \\ 0.876 \\ \vdots \\ 0.765 \end{bmatrix}$$

int, vowel, int
int, vowel, cont
int, vowel, vowel
low, int, high
low, int, low
short, voiced, short

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

$$\hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} 0.234 \\ 0.967 \\ 0.123 \\ \vdots \\ 0.152 \\ 0.876 \\ \vdots \\ 0.765 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{y}$$


$(\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y})^2$
erro quadrado médio

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (PROS):

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (PROS):

- Identificou padrões corretamente entre todos os 420 verbos do treinamento;

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (PROS):

- Identificou padrões corretamente entre todos os 420 verbos do treinamento;
- Taxa de acerto de **92%** para verbos regulares ausentes no treinamento;

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (PROS):

- Identificou padrões corretamente entre todos os 420 verbos do treinamento;
- Taxa de acerto de **92%** para verbos regulares ausentes no treinamento;
- Taxa de acerto de **84%** para verbos irregulares ausentes no treinamento;

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (PROS):

- Identificou padrões corretamente entre todos os 420 verbos do treinamento;
- Taxa de acerto de **92%** para verbos regulares ausentes no treinamento;
- Taxa de acerto de **84%** para verbos irregulares ausentes no treinamento;
- **U-shaped Development**

On Learning the Past Tenses of English Verbs [6]

Resultados (CONS):

Resultados (CONS):

- Falha ao tentar fazer predições com palavras que compartilham muitas features em comum;
Exemplo: "algalgal" - Oygangand

Resultados (CONS):

- Falha ao tentar fazer predições com palavras que compartilham muitas features em comum;
Exemplo: "algalgal" - Oygangand
- Problemas como uma teoria da mente

As Irregularidades no Português Brasileiro

Desafios:

As Irregularidades no Português Brasileiro

Desafios:

- "Wug Test";

Exemplos: "poguir", "redir", "atover"

As Irregularidades no Português Brasileiro

Desafios:

- "Wug Test";
Exemplos: "poguir", "redir", "atover"
- Adaptar a rede para a língua portuguesa

As Irregularidades no Português Brasileiro

Desafios:

- "Wug Test";
Exemplos: "poguir", "redir", "atover"
- Adaptar a rede para a língua portuguesa
- Melhorar o desempenho da rede

Modelos de linguagem e redes recorrentes

Definition

Nos chamamos de **modelo de linguagem** uma distribuição de probabilidade sobre uma sequência de tokens em uma língua natural.

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4) = p$$

Usamos esse modelo em:

- reconhecimento de fala
- tradução automática
- text auto-completion
- correção de texto
- resposta automatizada
- sumarização

- Probabilidade condicional

$$P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$$

- Independência

$$P(A|B) = P(A)$$

- Regra da cadeia

$$P(A, B, C) = P(A)P(B|A)P(C|A, B)$$

Como calculamos essas probabilidades?

Regra da cadeia:

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4) = P(x_1)P(x_2|x_1)P(x_3|x_1x_2)P(x_4|x_1x_2x_3)$$

Para simplificação fazemos uma **suposição de Markov**, i.e., para um n específico assumimos certas independências, assim cada palavra depende apenas das últimas $n - 1$ palavras:

$$P(x_1, \dots, x_T) = \prod_{t=1}^T P(x_t|x_1, \dots, x_{t-1}) = \prod_{t=1}^T P(x_t|x_{t-(n+1)}, \dots, x_{t-1})$$

Modelos baseados em estatísticas de n -gramas

A escolha de n leva a modelos diferentes.

Modelo de unigrama ($n = 1$):

$$P_{uni}(x_1, x_2, x_3, x_4) = P(x_1)P(x_2)P(x_3)P(x_4)$$

em que $P(x_i) = \text{count}(x_i)$.

Modelo de bigrama ($n = 2$):

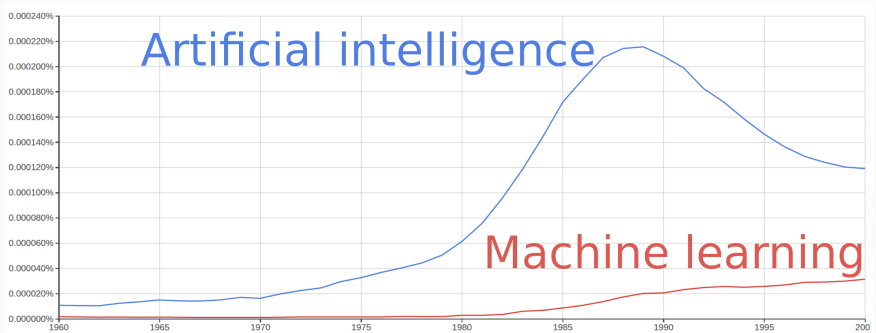
$$P_{bi}(x_1, x_2, x_3, x_4) = P(x_1)P(x_2|x_1)P(x_3|x_2)P(x_4|x_3)$$

em que

$$P(x_i|x_j) = \frac{\text{count}(x_i, x_j)}{\text{count}(x_j)}$$

Estatísticas de n -gramas

<https://books.google.com/ngrams>



Modelos baseados em estatísticas de n -gramas

- Quanto maior o n melhor a performance do modelo.
- Quanto maior o n maior o uso de memória!

*"Using one machine **with 140 GB RAM for 2.8 days**, we built an unpruned model on 126 billion tokens."*

Scalable Modified Kneser-Ney Language Model Estimation by Heafield et al.

Modelos de linguagem como predição de data sequencial

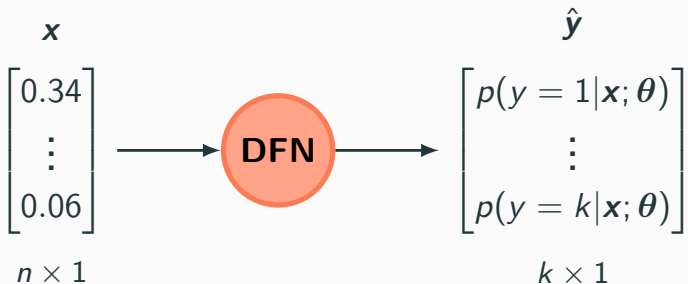
Em vez de usar uma abordagem que seja específica para o domínio da linguagem natural, podemos usar um modelo para predição de dados sequencias: **uma rede recorrente (RNN)**.

Nossa tarefa de aprendizado é estimar a distribuição de probabilidade

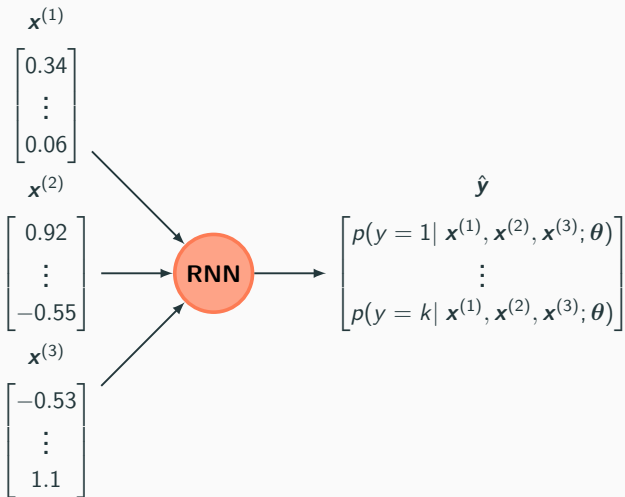
$$P(x_n = \text{palavra}_{j^*} | x_1, \dots, x_{n-1})$$

para qualquer $(n - 1)$ sequencia de palavras x_1, \dots, x_{n-1} .

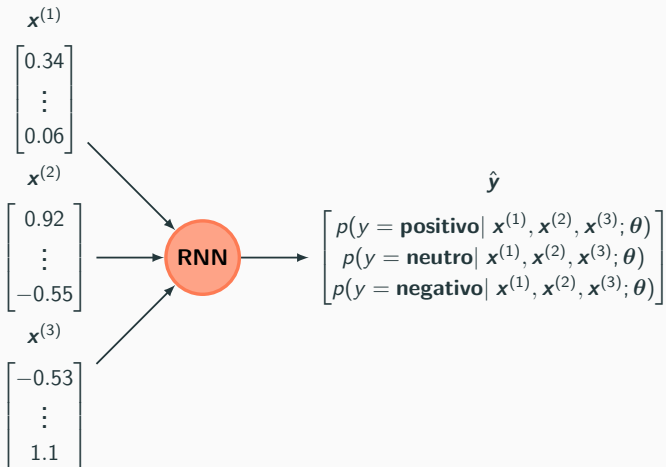
Classificação com uma deep feedforward network



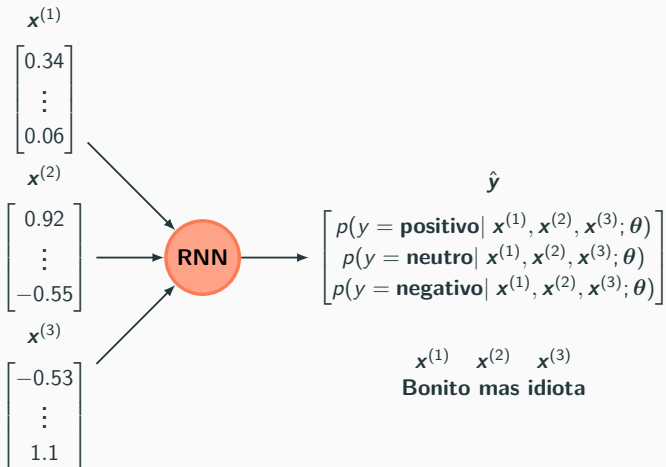
Classificação com uma RNN



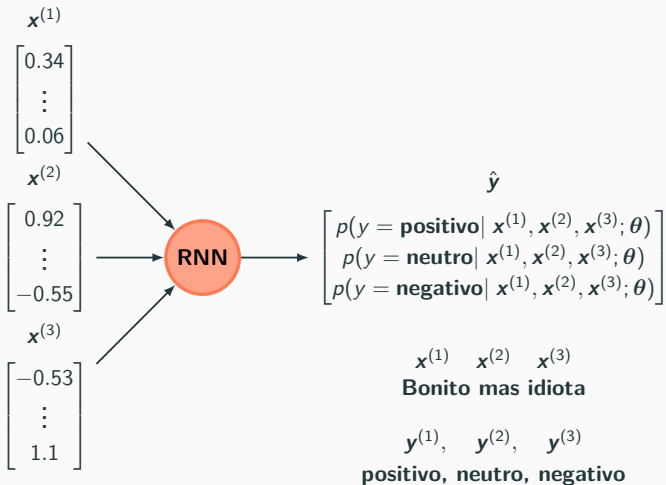
Classificação com uma RNN



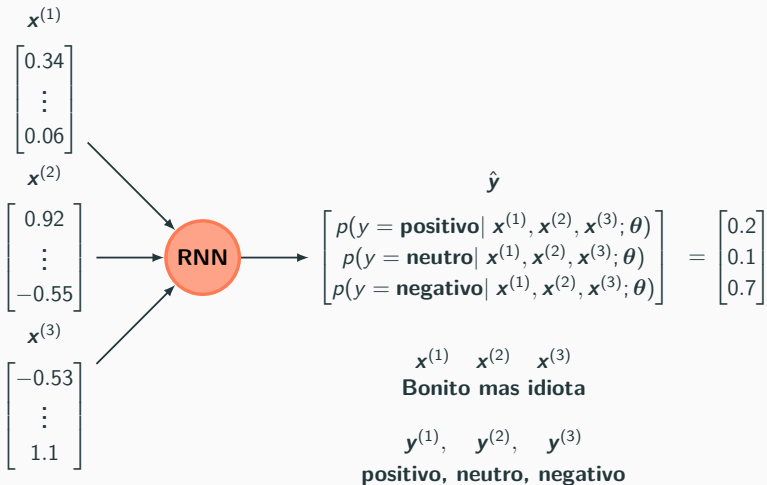
Classificação com uma RNN

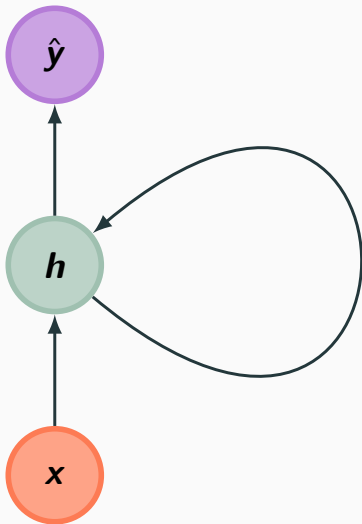


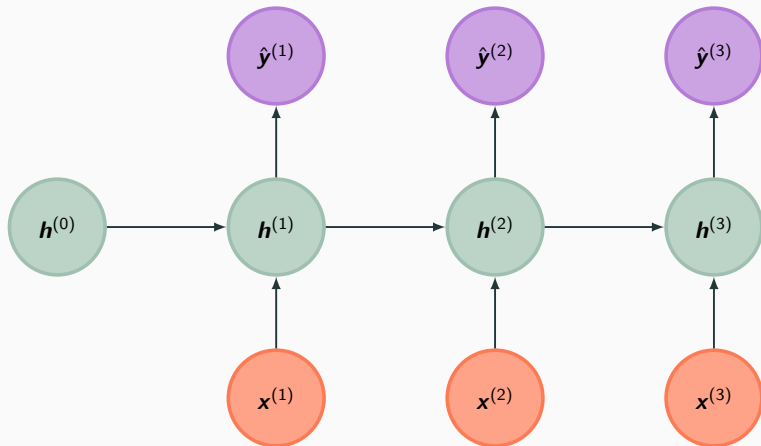
Classificação com uma RNN



Classificação com uma RNN







Exemplo de um dataset

Nos separamos um corpus C com T tokens e vocabulário \mathbb{V} .

Exemplo: **Make Some Noise**, the Beastie Boys.

*Yes, here we go again, give you more, nothing lesser
Back on the mic is the anti-depressor
Ad-Rock, the pressure, yes, we need this
The best is yet to come, and yes, believe this
...*

- $T = 378$
- $|\mathbb{V}| = 186$

Exemplo de um dataset

O dataset é uma coleção de pares (\mathbf{x}, \mathbf{y}) em que \mathbf{x} é uma palavra e \mathbf{y} é a palavra imediatamente a direita. Por exemplo:

$$(\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{y}^{(1)}) = (\text{Yes, here}).$$

$$(\mathbf{x}^{(2)}, \mathbf{y}^{(2)}) = (\text{here, we})$$

$$(\mathbf{x}^{(3)}, \mathbf{y}^{(3)}) = (\text{we, go})$$

$$(\mathbf{x}^{(4)}, \mathbf{y}^{(4)}) = (\text{go, again})$$

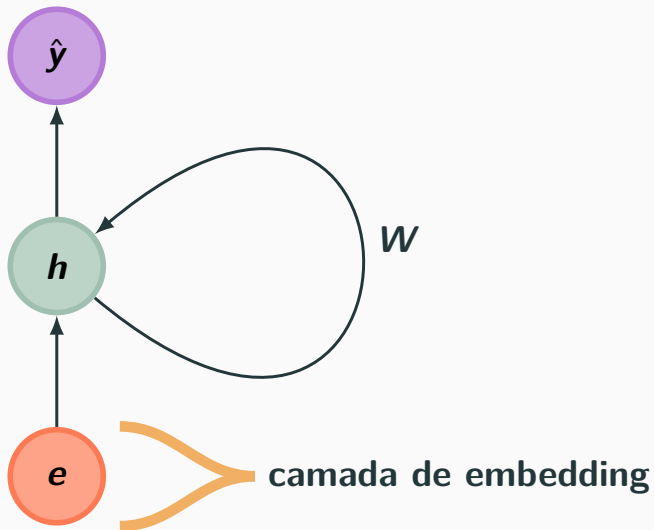
$$(\mathbf{x}^{(5)}, \mathbf{y}^{(5)}) = (\text{again, give})$$

$$(\mathbf{x}^{(6)}, \mathbf{y}^{(6)}) = (\text{give, you})$$

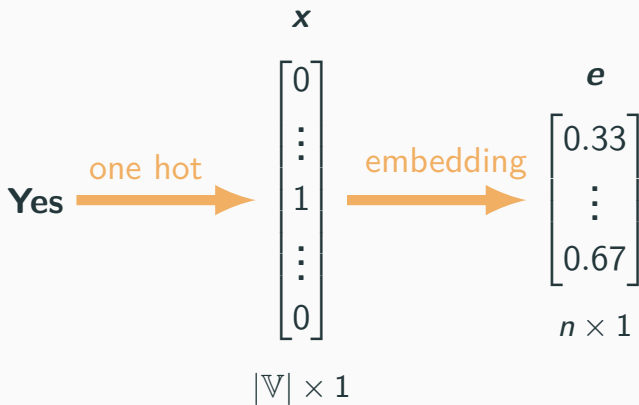
$$(\mathbf{x}^{(7)}, \mathbf{y}^{(7)}) = (\text{you, more})$$

...

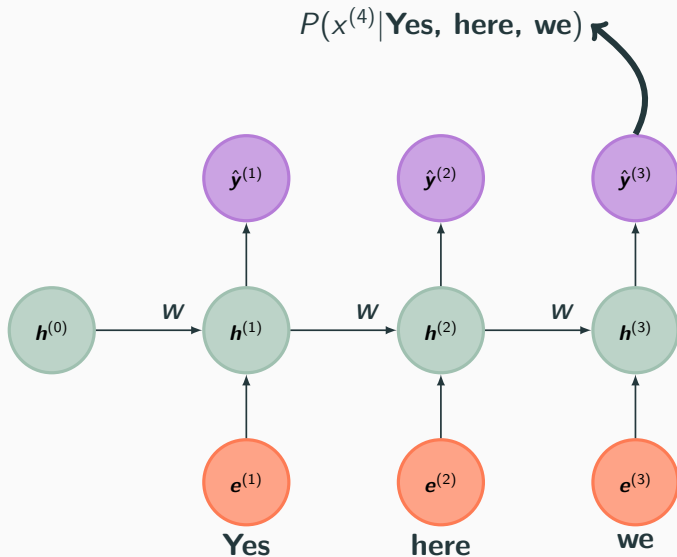
O modelo de linguagem com RNN



Word Embeddings



O modelo de linguagem com RNN



Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Eu fui morar na **frança**, com uma _____.

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Eu fui morar na **frança**, com uma _____. (**francesa**)

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Eu fui morar na **frança**, com uma _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança**, nesse tempo fiquei estudando a língua _____.

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Eu fui morar na **frança**, com uma _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança**, nesse tempo fiquei estudando a língua _____. (**francesa**)

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

Eu fui morar na **frança**, com uma _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança**, nesse tempo fiquei estudando a língua _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança** durante três anos e cinco meses com dois amigos, o Carlos e o Lucas. Foi bem legal, nesse tempo fiquei estudando a língua _____.

Dificuldades ao se treinar uma RNN

- Quando nos inicializamos \mathbf{W} de modo que $\|\mathbf{W}\| < 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão sumir (**vanishing problem**).
- E quando $\|\mathbf{W}\| > 1$, os gradientes dos passos mais antigos vão explodir (**exploding problem**).
- Como resultado os gradientes dos passos mais próximos ao passo final vão ter mais influência do que os passos mais distantes. Isso é ruim para capturar **longas dependências**.

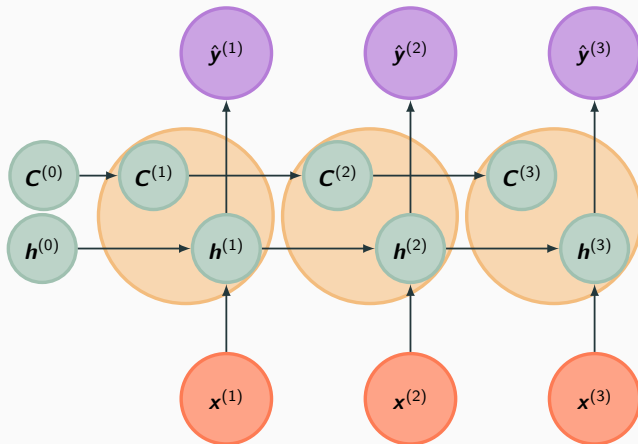
Eu fui morar na **frança**, com uma _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança**, nesse tempo fiquei estudando a língua _____. (**francesa**)

Eu fui morar na **frança** durante três anos e cinco meses com dois amigos, o Carlos e o Lucas. Foi bem legal, nesse tempo fiquei estudando a língua _____. (**francesa**)

Algumas soluções

- GRU (Gated Recurrent Unit)
- LSTM (Long Short-Term Memory).



Exemplo de aplicação: TrumpBot

<https://github.com/felipessalvatore/MyTwitterBot>



Felipe Salvatore

@Felipessalvador

Hillary can make america great again.

[@greta](#) [@MarkBurnettTV](#)

[#DinheiroNãoCompra](#) [#SecretBallot](#)

[#خسوف_القمر](#)

Traduzir do inglês

15:10 - 7 de ago de 2017



Felipe Salvatore

@Felipessalvador

Obama is all beautiful. I agree with people attacking me. Amazing. [@CLewandowski_](#)

[#SecretBallot](#) [@garyplayer](#) [@greta](#)

Traduzir do inglês

14:40 - 7 de ago de 2017

Exemplo de aplicação: SakaBot

<https://github.com/felipessalvatore/MyTwitterBot>



Felipe Salvatore

@Felipessalvador



Eduardo Cunha deve ser denunciado pelos frigoríficos ainda. Podem apostar no máximo
[#AGoodDayIncludes](#) [#لعبه_مریم](#)

10:19 - 7 de ago de 2017



Felipe Salvatore

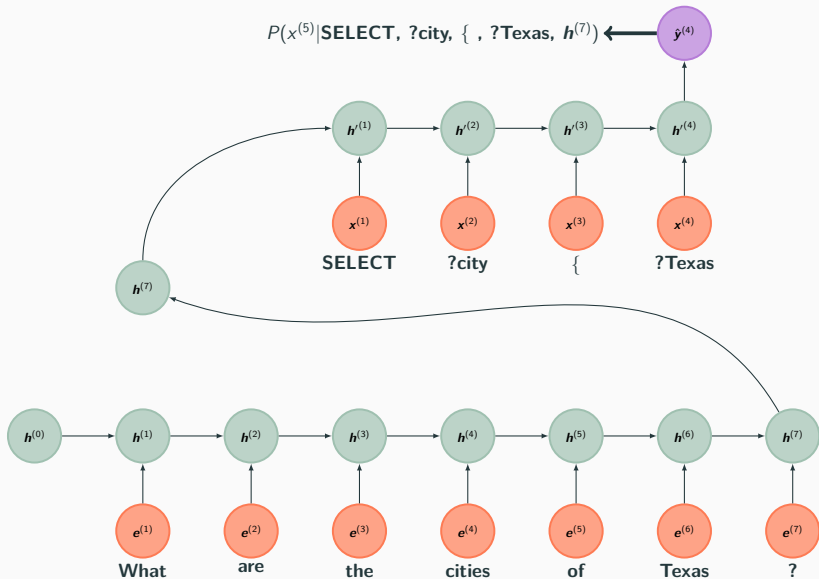
@Felipessalvador



Neymar é na verdade algo que o cara vomitou na rua. Lá ele se torna mais rico
[#WannaOneDebut](#)
[#العيسي_للطلاب_اشتكوني_للمظالم](#)

09:19 - 7 de ago de 2017

Tradução automática: Inglês \rightarrow SPARQL[3]



LSTM e GRU são apenas o começo

Perplexidade é uma medida de quantas palavras diferentes igualmente prováveis podem seguir uma sequência de palavras (pior caso $|\mathbb{V}|$, melhor caso 1).

Olhando o corpus **Penn Treebank (PTB)** ($|\mathbb{V}| = 10000$):

Model	Val	Test
Mikolov et al (2011)[4]	163.2	149.9
Zaremba et al (2014)[8]	82.62	78.29



Richard

@RichardSocher

Seguindo



When Zoph & Le at Google got 62 perplexity on PTB, I thought it'd be impossible to beat. Amazing progress in AI atm.

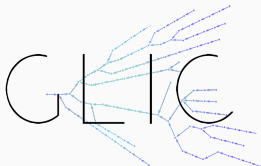
arxiv.org/abs/1708.02182

Traduzir do inglês

Model results over Penn Treebank (PTB)	Params	Val	Test
Grave et al. (2016) - LSTM	—	—	82.3
Grave et al. (2016) - LSTM + continuous cache pointer	—	—	72.1
Inan et al. (2016) - Variational LSTM (tied) + augmented loss	24M	75.7	73.2
Inan et al. (2016) - Variational LSTM (tied) + augmented loss	51M	71.1	68.5
Zilly et al. (2016) - Variational RHN (tied)	23M	67.9	65.4
Zoph & Le (2016) - NAS Cell (tied)	25M	—	64.0
Zoph & Le (2016) - NAS Cell (tied)	54M	—	62.4
Melis et al. (2017) - 4-layer skip connection LSTM (tied)	24M	60.9	58.3
AWD-LSTM - 3-layer LSTM (tied)	24M	60.0	57.3
AWD-LSTM - 3-layer LSTM (tied) + continuous cache pointer	24M	53.9	52.8

01:47 - 8 de ago de 2017

Obrigado!



<https://glicusp.wordpress.com/>



<https://www.ime.usp.br/~liamf/>

References I



metodosupera neuronios glossario do cerebro.

<http://metodosupera.com.br/neuronios-glossario-do-cerebro/>.



I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville.

Deep Learning.

MIT Press, 2017.



F. F. Luz and M. Finger.

Semantic parsing natural language into sparql: an lstm encoder- decoder neural net approach.

2017.



T. Mikolov, S. Kombrink, L. Burget, J. Cernocký, and S. Khudanpur.

Extensions of recurrent neural network language.

IEEE, pages 5528–5531, 2011.



M. T. Ribeiro, S. Singh, and C. Guestrin.

"why should i trust you?": Explaining the predictions of any classifier.

In *Proceedings of the 22Nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '16, pages 1135–1144, New York, NY, USA, 2016. ACM.



D. E. Rumelhart, J. L. McClelland, and C. PDP Research Group, editors.

Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol. 2: Psychological and Biological Models.

MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1986.



H. Xiao, K. Rasul, and R. Vollgraf.

Fashion-mnist: a novel image dataset for benchmarking machine learning algorithms, 2017.



W. Zaremba, I. Sutskever, and O. Vinyals.

Recurrent neural network regularization.

CoRR, abs/1409.2329, 2014.