

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

João Vítor Bolsson Marques

**MÓDULO DE ANÁLISE CONTRASTIVA PARA AVALIAÇÕES
FONOLÓGICAS DO E-FONO**

Santa Maria, RS
2022

João Vítor Bolsson Marques

**MÓDULO DE ANÁLISE CONTRASTIVA PARA AVALIAÇÕES FONOLÓGICAS DO
E-FONO**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciência da Computação**.

ORIENTADOR: Prof. João Carlos Damasceno Lima

COORIENTADORA: Prof.^a Márcia Keske-Soares

©2022

Todos os direitos autorais reservados a João Vítor Bolsson Marques. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

End. Eletr.: jvmarques@inf.ufsm.br

João Vítor Bolsson Marques

**MÓDULO DE ANÁLISE CONTRASTIVA PARA AVALIAÇÕES FONOLÓGICAS DO
E-FONO**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciência da Computação**.

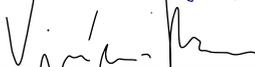
Aprovado em 18 de fevereiro de 2022:



João Carlos Damasceno Lima, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Maria Helena Franciscatto, Me. (UFSM)



Vinícius Maran, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

À minha vó e à minha tia, pela inspiração.

Módulo de Análise Contrastiva para Avaliações Fonológicas do e-Fono

João Vítor Bolsson Marques¹, João Carlos D. Lima¹, Márcia Keske-Soares²

¹Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

²Centro de Ciências da Saúde – UFSM

{jvmarques, caio}@inf.ufsm.br, marcia-keske.soares@ufsm.br

Abstract. *The contrastive analysis of a phonological assessment is an important step whose main objective is to classify the degree of phonological disorder in a child. Through this step, the speech-language therapist specifies in detail each assessment, which consists of a set of target words which the child should make the pronunciation naturally. With the correct analysis, it is possible to separately identify each pronounced phoneme, and thus isolate the problem to receive proper treatment. This complementation occurred through the inclusion of a contrastive analysis module, which aims to quantify the degree of phonological disorder based on the individual analysis of each phoneme of an assessment, facilitating the process of diagnosis and treatment of phonological disorders in children in their development stage.*

Resumo. *A análise contrastiva de uma avaliação fonológica é uma importante etapa que tem como principal objetivo classificar o grau de transtorno fonológico em uma criança. Através dessa etapa o fonoaudiólogo especifica detalhadamente cada avaliação, que consiste em um conjunto de palavras-alvo as quais a criança deverá fazer a pronúncia naturalmente. Com a análise correta, é possível identificar separadamente cada fonema pronunciado, e com isso isolar o problema para receber o devido tratamento. Este trabalho visa complementar a Plataforma e-Fono, que atualmente é utilizada por profissionais fonoaudiólogos para a realização e coleta de dados referentes a avaliações fonológicas. Essa complementação ocorreu através da inclusão de um módulo de análise contrastiva, o qual visa quantificar o grau de transtorno fonológico com base na análise individual de cada fonema de uma avaliação, facilitando o processo de diagnóstico e tratamento de transtornos fonológicos em crianças na sua fase de desenvolvimento.*

1. Introdução

Transtornos fonológicos podem aparecer no desenvolvimento de uma criança durante o processo de aquisição da linguagem, que inicia logo nos seus primeiros meses de vida e pode envolver algumas dificuldades em pronúncias até atingir uma determinada idade [Schirmer et al. 2004]. Se a criança não consegue superar a dificuldade naturalmente, esses problemas costumam ser de fácil tratamento e tendem a desaparecer com a terapia adequada. Porém, é comum que os pais ou responsáveis, bem como pedagogos, não deem a devida atenção quando alguns transtornos na fala começam a aparecer na criança

e persistem por muito tempo, podendo tornar um problema simples de ser resolvido em um maior e mais demorado.

Quando não detectado, o transtorno fonológico pode permanecer na fala da criança e acompanhá-la na vida escolar durante seu processo de alfabetização [Goulart and Chiari 2014]. A partir de então, é provável que ela tenha dificuldades no aprendizado, bem como dificuldades em socializar com outras crianças, podendo sofrer emocionalmente *bullying* [Melo et al. 2015]. Sem a avaliação de um fonoaudiólogo e posterior tratamento, esses transtornos tendem a não desaparecer naturalmente com o tempo, pelo contrário, tendem a acompanhar a criança até mesmo na vida adulta, podendo trazer problemas para a sua vida social e profissional.

Para que esses transtornos possam ser detectados, é recomendado que a criança passe por avaliação fonológica no seu processo de desenvolvimento, pois reduz-se a necessidade de terapia quanto mais cedo a condição for diagnosticada e tratada [Prates and Martins 2011]. A plataforma e-Fono, desenvolvida em trabalhos anteriores [Almeida 2018], [Moro 2018], [Franciscatto et al. 2020], [Gassen 2021] e [Schmaedeck 2021], fornece um ambiente para que fonoaudiólogos realizem avaliações dentro da plataforma. Cada avaliação consiste na apresentação de um conjunto de imagens para a criança, que deve pronunciar logo em seguida qual objeto está na imagem, sem ouvir ou ler a palavra-alvo previamente [Schmaedeck 2021]. Cada pronúncia é armazenada em áudios dentro da plataforma, que passam por um processamento posterior e auxiliam o fonoaudiólogo na avaliação.

A implementação atual do sistema e-Fono possui diversas funcionalidades para auxiliar o fonoaudiólogo, como a criação de avaliações fonológicas e classificação por inteligência artificial das pronúncias realizadas. Apesar das ferramentas disponíveis servirem muito bem no acompanhamento das avaliações fonológicas, a plataforma ainda carece de um módulo que analisa posteriormente as pronúncias obtidas nas avaliações. A análise das produções de fala obtidas busca comparar o sistema fonológico da criança avaliada com o sistema fonológico padrão de um adulto [Pagliarin 2009], identificando contrastes entre os dois, por isso ela recebe o nome de *Análise Contrastiva*. Através dessa comparação é possível identificar nitidamente substituições e omissões de fonemas, os quais sugerem a gravidade do transtorno fonológico [Shriberg et al. 1997b].

O módulo desenvolvido pelo presente trabalho implementa o funcionamento geral da análise contrastiva. O mesmo é utilizado para se ter um entendimento mais detalhado da fala da criança, sendo feito um isolamento de cada fonema utilizado em uma palavra e, após isso, classificando-os como produções corretas, omitidas ou substituídas. Através dessa classificação é possível fazer um levantamento de todos os fonemas que a criança consegue produzir, bem como determinar a gravidade do transtorno fonológico presente em sua fala.

Inicialmente, é apresentado um conjunto de planilhas utilizadas atualmente em um processo manual de análise contrastiva, as quais visam classificar como “correta”, “omissão” ou “substituição” a produção de cada fonema na fala da criança. Para determinar o inventário fonético, isto é, os fonemas que a criança consegue produzir, são analisados os dados das planilhas anteriores, levando em consideração todas as produções de cada fonema. Para determinar a gravidade do transtorno fonológico são utilizados

os mesmos dados coletados anteriormente, usando um método que considera somente as produções “corretas”, o qual visa obter uma porcentagem das produções corretas dos fonemas em relação ao total de produções.

Tendo conhecimento da gravidade do transtorno fonológico da criança, o fonoaudiólogo é capaz de realizar um tratamento mais eficaz, alterando a quantidade de sessões de terapia de acordo com a gravidade do problema. Ressalta-se também, que através da análise dos fonemas que a criança consegue produzir o fonoaudiólogo é capaz de saber também os fonemas que ela não adquiriu, podendo direcionar o tratamento para onde a criança apresenta maior dificuldade.

Na Seção 2 deste trabalho é apresentada uma revisão dos trabalhos existentes na literatura que estão relacionados à este, bem como uma breve contextualização revisando alguns conceitos que serão abordados no decorrer do mesmo. A Seção 3 descreve o módulo de análise contrastiva, onde seu funcionamento será apresentado e detalhado. Já na Seção 4 serão demonstrados os métodos utilizados para a implementação das ferramentas abordadas na Seção 3. Por último, na Seção 5 serão apresentados os resultados obtidos e as conclusões obtidas por este trabalho.

2. Referencial Teórico

Nesta seção serão apresentados ao leitor alguns conceitos básicos para a compreensão do presente trabalho, como fonema, processo fonológico, transcrição fonética e transtorno fonológico. Também serão apresentados alguns trabalhos relacionados, bem como algumas lacunas que serviram como motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. Conceitos Importantes

No decorrer deste trabalho o leitor irá se deparar com uma série de conceitos usados frequentemente na fonoaudiologia. A fim de não comprometer o entendimento, alguns conceitos serão abordados e explicados brevemente.

O primeiro deles é a definição de um **fonema**, o qual é conhecido por ser a menor unidade sonora de uma língua capaz de causar distinção entre duas ou mais palavras [Silva 1999]. Por exemplo: as palavras “faca” e “vaca” se diferenciam pelos sons de [f] e [v], portanto, [f] e [v] são dois fonemas e são representados dessa forma. Quando ocorre omissão ou substituição de fonemas na fala infantil, ocorre um processo fonológico.

O **processo fonológico** é um mecanismo natural que acontece no processo de aquisição da linguagem de uma criança em uma tentativa de aproximar sua fala à do adulto [Prates and Martins 2011]. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de processos fonológicos, bem como uma idade máxima esperada para que a criança o supere. Porém, a criança pode seguir aplicando um processo fonológico mesmo após a idade máxima pré-estabelecida. Nesse caso, um processo fonológico natural, se não superado, passa a ser considerado um **transtorno fonológico** [Schirmer et al. 2004], os quais são detectados e tratados em avaliações de fala, as quais comumente utilizam-se de **transcrições fonéticas**.

Os fonemas são usados para fazer a transcrição fonética de uma pronúncia. Usando o exemplo anterior, a palavra “faca”, se pronunciada corretamente, é transcrita como [fakə], sendo que a mesma transcrição pode ser vista para a palavra “vaca”, se pronunciada de forma incorreta. Nesse caso, ocorreu uma substituição do fonema [v] por [f] e demais exemplos de transcrição fonética podem ser vistos a seguir na Tabela 2.

Processo fonológico	Idade máxima	Exemplos
Redução de sílaba	18 meses	Sapato → <i>pato</i>
Harmonia consonantal	18 meses	Sapato → <i>papato</i>
Plosivação de fricativa	18 meses	Fada → <i>pada</i> ; jaca → <i>gaca</i>
Anteriorização	36 meses	Cachorro → <i>casorro</i>
Posteriorização para velar	42 meses	Tatu → <i>cacur</i> ; Dama → <i>gama</i>
Posteriorização para palatal	54 meses	Sapo → <i>chapo</i> ; Zebra → <i>gebra</i>

Tabela 1. Processos fonológicos e idade esperada para superação. [Prates and Martins 2011]

Palavra	Transcrição Fonética
Bi.blio.te.ca	bi.bli.o.'t.k
	bi.o.'t.k
	bi.bi.o.'t.k
Ca.va.lo	ka.'va.lo
	ka.'va.lu
	ka'falu

Tabela 2. Exemplos de Transcrições Fonéticas: Acervo Pessoal

A partir de uma transcrição fonética, cabe à análise contrastiva identificar tais substituições ou omissões de fonemas para a determinação de transtornos fonológicos. Os fonemas podem aparecer em diferentes posições da sílaba (início, meio e fim) e da palavra, e a produção de cada fonema em uma pronúncia deve obrigatoriamente estar em uma dessas posições vistas a seguir. O fonema em destaque se encontra na posição da palavra de cada item.

- (OI) Onset Inicial: início de sílaba, início da palavra - **ca**.sa;
- (OM) Onset Medial: início de sílaba, meio da palavra - ca.**va**.lo;
- (CM) Coda Medial: final de sílaba, meio da palavra - ca.dar.**ço**;
- (CF) Coda Final: final de sílaba, final da palavra - a.mor**;**
- (OCI) Onset Complexo Inicial: início de sílaba, início da palavra - **bra**.sil;
- (OCM) Onset Complexo Medial: início de sílaba, meio da palavra - bi.**bli**.te.ca.

Por último, é importante mencionar que os fonemas são classificados em classes quanto ao modo de articulação *plosivas, fricativas, etc.*, também quanto ao ponto de articulação *labial, alveolar, etc.*, e quanto à sonoridade *surdo ou sonoro* [Othero 2005]. Tais conceitos não são detalhados neste documento a fim de não comprometer o foco do trabalho, porém, eles estão presentes no sistema para leitura e interpretação por parte dos fonoaudiólogos que usam a plataforma.

Na subseção a seguir, serão apresentados alguns trabalhos relacionados que embasaram a atual proposta.

2.2. Trabalhos Relacionados

O trabalho de [Moro 2018] apresenta um aplicativo *mobile* que entrega um ambiente digital prático para o fonoaudiólogo realizar avaliações fonológicas em crianças. Cada avaliação consiste em apresentar separadamente um conjunto de imagens, cada uma representando uma palavra-alvo que deve ser pronunciada pela criança de forma natural. Cada pronúncia é armazenada em áudio dentro da plataforma e, então, enviada para uma API REST (desenvolvida inicialmente por [Almeida 2018] e refatorada em [Schmaedeck 2021]), onde é classificada por técnicas de Inteligência Artificial como correta ou incorreta.

No trabalho de [Pagliarin 2009] foram utilizadas quatro fichas para a realização da análise contrastiva, sendo duas para descrição fonética e duas para análise fonológica, todas sendo fichas físicas com o seu preenchimento manual, sob responsabilidade de um profissional fonoaudiólogo. Cada uma das fichas se concentra em uma determinada etapa da análise contrastiva, sendo todas elas importantes para a obtenção de resultados específicos, como os inventários fonético e fonológico da criança.

Ainda no trabalho de [Pagliarin 2009], foi utilizado o Percentual de Consoantes Corretas–Revisado (PCC-R) de [Shriberg et al. 1997a], que é calculado com base no número de produções corretas de consoantes pronunciadas pela criança e o total de produções realizadas, permitindo determinar a gravidade do transtorno fonológico da mesma. Esse valor é obtido através da análise das fichas mencionadas anteriormente, no qual somente as substituições e omissões de fonemas são considerados erros. O PCC-R também é usado no trabalho de [Franciscatto et al. 2020], o qual se baseia nele para fazer recomendações de atividades terapêuticas de acordo com a respectiva gravidade do transtorno, conforme será visto na Tabela 3 da Seção 3.5.

2.3. Plataforma e-Fono

O e-Fono é uma plataforma construída em trabalhos anteriores dos cursos de informática da UFSM, juntamente com a fonoaudiologia. A plataforma foi criada com o intuito de unir esforços para fornecer um ambiente digital onde os fonoaudiólogos pudessem realizar avaliações fonológicas em crianças na sua fase de desenvolvimento, com o objetivo de identificar transtornos fonológicos.

Nesse ambiente, o fonoaudiólogo tem acesso aos dados de seus pacientes, incluindo todas as suas avaliações fonológicas realizadas pelo mesmo na plataforma. A Plataforma e-Fono já foi alvo de estudo em diversos trabalhos anteriores, os quais implementaram importantes funcionalidades como identificação por voz [Gassen 2021], avaliações fonológicas [Schmaedeck 2021] e um aplicativo *mobile* [Moro 2018], entre outros.

Apesar da plataforma e-Fono entregar um ambiente digital para coleta de dados referentes às avaliações fonológicas, ainda não dispõe de um módulo capaz de processar os dados coletados e entregar informações automatizadas para o fonoaudiólogo no formato de uma análise contrastiva, a qual disponibiliza dados como o PCC-R e os inventários fonético e fonológico. Tal módulo seria útil para relatórios, laudos e diagnósticos futu-

ros, tornando a plataforma mais robusta e completa. Questões como essas motivaram o desenvolvimento do presente trabalho, o qual será apresentado na Seção 3.

3. Módulo de Análise Contrastiva

Antes de abordar detalhes sobre a arquitetura e implementação do módulo de análise contrastiva é importante saber como essa análise funciona. Conforme menciona [Pagliarin 2009] a análise contrastiva é um processo que realiza a comparação entre o sistema fonológico infantil e o sistema padrão adulto. A Figura 1 mostra esse processo de forma simplificada, onde o fonoaudiólogo compara cada segmento e/ou sílaba fonética individualmente, observando diferenças na pronúncia da criança com base em um resultado aceitável conforme o padrão adulto sinalizado em verde escuro.

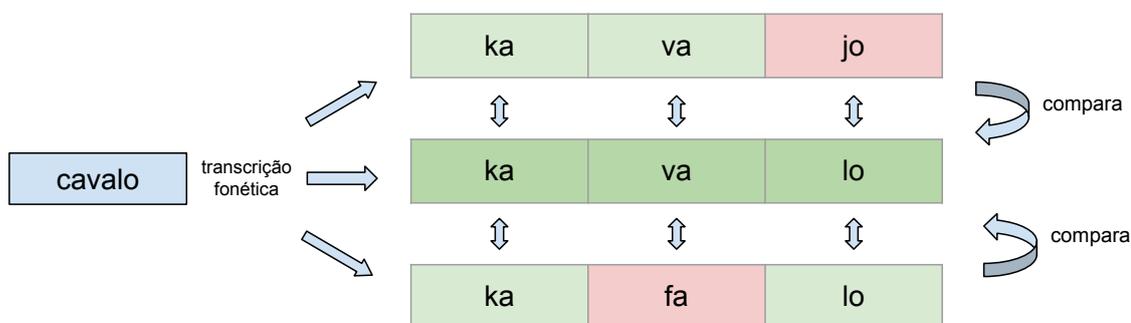


Figura 1. Comparação entre a Transcrição Fonética de um adulto (verde escuro) e a de uma criança: Acervo Pessoal

Nessa análise, tratando-se de casos de transtorno fonológico, e também considerando o índice PCC-R, somente os fonemas consonantais são observados [Shriberg et al. 1997a]. Seguindo os exemplos demonstrados na Figura 1, a transcrição fonética [ka'.va.lu] estaria correta, pois somente os fonemas consonantais [k], [v] e [l] são considerados na análise contrastiva. Essa comparação influencia diretamente no cálculo do valor do PCC-R, o qual considera todas as produções corretas, omitidas e substituídas, conforme será visto na Seção 3.5. Atualmente, cabe ao fonoaudiólogo todo este processo de análise realizado manualmente, incluindo a contagem das produções corretas e o total de produções de fonemas realizados pela criança.

Para isso são usadas fichas físicas no formato de planilhas, cujo preenchimento é de responsabilidade do fonoaudiólogo. No entanto, são escassas as aplicações online disponíveis gratuitamente para realização de avaliações fonológicas, e ainda mais raras as que são capazes de computar essas informações de automaticamente na forma de uma Análise Contrastiva. Por essa razão, o módulo de análise contrastiva para o e-Fono, o qual será detalhado nas próximas seções, é alvo de estudo do presente trabalho e seu fluxograma pode ser visualizado na Figura 2.

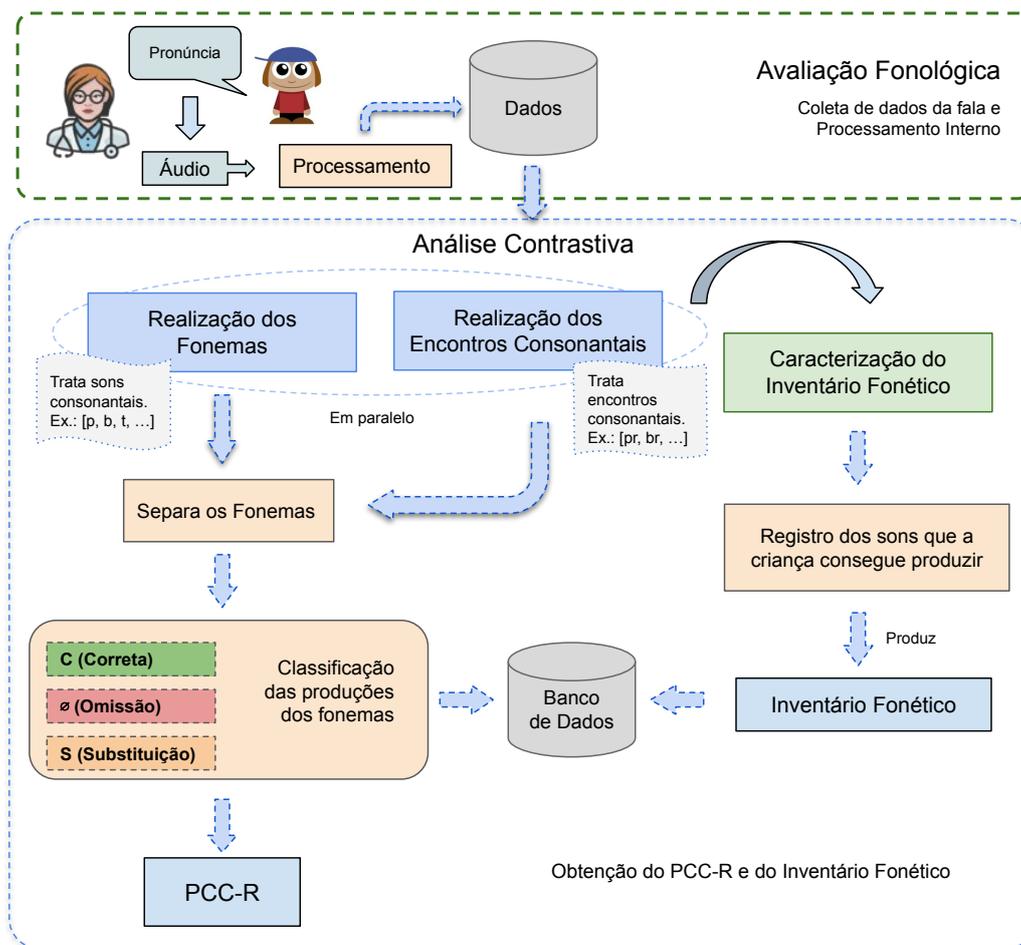


Figura 2. Análise Contrastiva: Acervo Pessoal

A Análise Contrastiva é formada por 3 etapas, sendo que a Realização dos Fonemas e dos Encontros Consonantais podem ser feitas paralelamente, seguidas da Caracterização do Inventário Fonético, a qual observa os dados obtidos das etapas anteriores. Nas duas primeiras etapas cada fonema é classificado separadamente na transcrição, sendo que tal classificação influencia diretamente no resultado encontrado para o valor PCC-R, o qual será abordado na Seção 3.5. A seguir, entenderemos como se dá uma avaliação fonológica e como a Análise Contrastiva se encaixa na plataforma.

3.1. Avaliação Fonológica

A plataforma e-Fono fornece ao profissional fonoaudiólogo a possibilidade de realizar suas avaliações fonológicas de forma online. Essa funcionalidade foi implementada no trabalho de [Schmaedeck 2021] e está brevemente resumida na Figura 2. Entretanto, visando o entendimento do presente trabalho e contextualização do mesmo, a Figura 3 descreve melhor o funcionamento básico das avaliações fonológicas, apresentando como os dados utilizados neste trabalho são coletados pela plataforma.

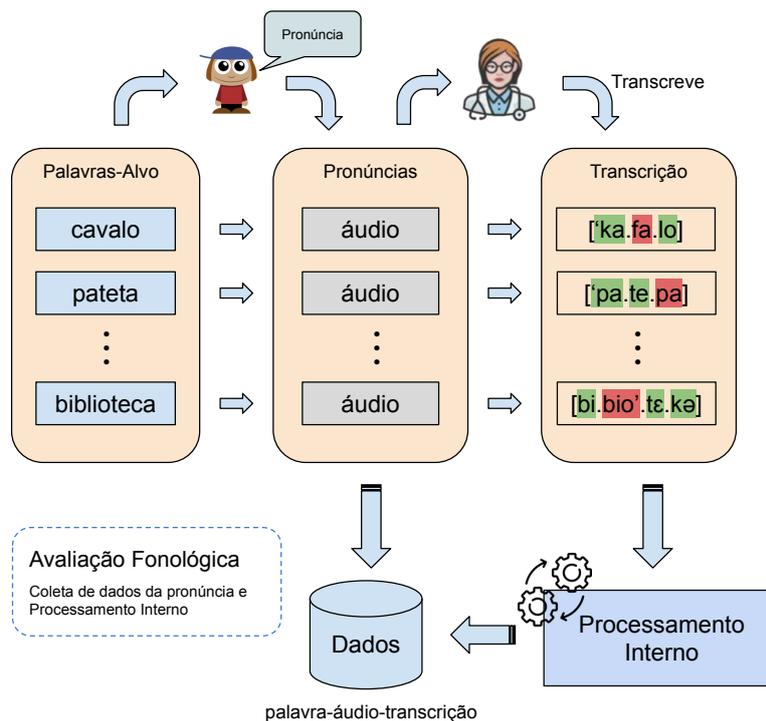


Figura 3. Avaliação Fonológica: Acervo Pessoal

Cada avaliação possui um conjunto de palavras-alvo, que devem ser pronunciadas espontaneamente pela criança. A seguir, cada pronúncia fica armazenada em áudios separadamente, que também são utilizados para reconhecimento de voz, implementado no trabalho de [Gassen 2021]. Após essa coleta inicial, cabe ao fonoaudiólogo inserir na plataforma a transcrição fonética da pronúncia de cada palavra-alvo, isto é, como ela foi falada pela criança, incluindo omissões e substituições, quando houver. Todos esses dados passam por um processamento interno e são armazenados na base de dados da plataforma e, a partir deles, é possível realizar a análise contrastiva da avaliação começando pela contagem dos fonemas realizados.

3.2. Realização dos Fonemas

Esta etapa consiste primeiramente em receber os dados da avaliação fonológica contendo a transcrição fonética da palavra pronunciada pela criança. Através dos dados, é possível analisar os fonemas nas diferentes posições da sílaba e da palavra, sendo classificadas como produções corretas, substituição ou omissão [Pagliarin 2009].

O objetivo dessa etapa é registrar o número de produções corretas para cada fonema, fornecendo uma das variáveis para o cálculo do valor PCC-R, o qual será apresentado na Seção 3.5. Em caso de omissão de um fonema, isto é, um fonema não pronunciado pela criança, fica registrado o número de vezes que isso ocorreu para cada fonema. Também são registradas as ocorrências de substituição de um fonema por outro, onde a análise detalha qual fonema foi substituído na pronúncia da criança, bem como o fonema usado na substituição, e em quantas produções isso ocorreu.

Visando o melhor entendimento da etapa de Realização dos Fonemas, a mesma

pode ser melhor visualizada através da Figura 4. Destaca-se que, para a palavra “pateta”, ocorreram duas produções do fonema [p]: uma na posição correta e outra em substituição ao fonema [t], sendo que a tabela na direita apresenta a contagem dos fonemas considerando suas produções vistas na esquerda.

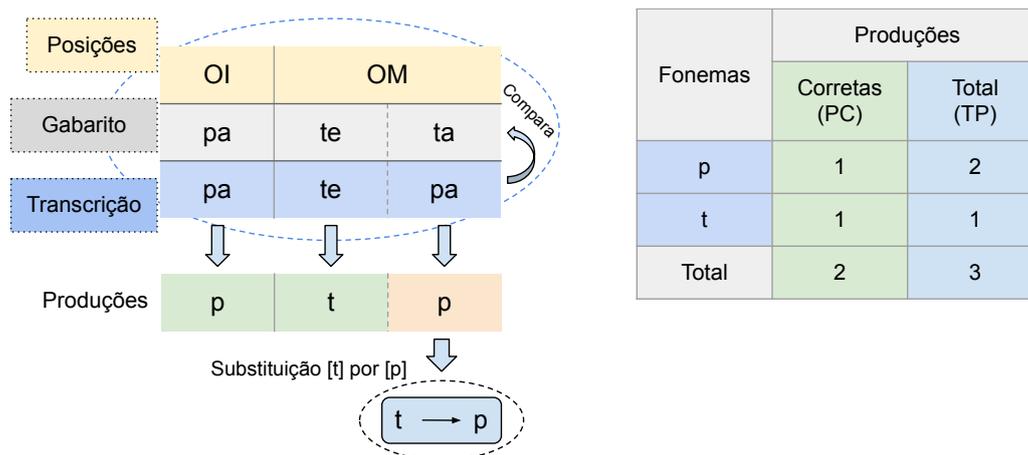


Figura 4. Processo da etapa de Realização dos Fonemas (esquerda) e Contagem de Produções (direita): Acervo Pessoal

Ainda nesta etapa, tem-se os registros necessários para gerar automaticamente o inventário fonético da criança, isto é, todos os fonemas que ela consegue produzir. Basta considerar o número de produções corretas em cada fonema e somar com o número de vezes que esse fonema foi usado para substituir outros fonemas. Essa etapa será apresentada e detalhada na Seção 3.4.

3.3. Realização dos Encontros Consonantais

Tanto a etapa da Realização dos Fonemas quanto a etapa da Realização dos Encontros Consonantais utilizam o mesmo algoritmo visto na Figura 4. Entretanto, a primeira trata somente os sons consonantais individuais (denominados onset simples), como *s*, *b* e *t*, enquanto a segunda trata dos encontros consonantais, ou seja, a combinação de duas consoantes (denominada onset complexo), como *pr*, *pl* e *br*, entre outros.

A Figura 5 apresenta um exemplo mais completo exemplificando essa etapa.

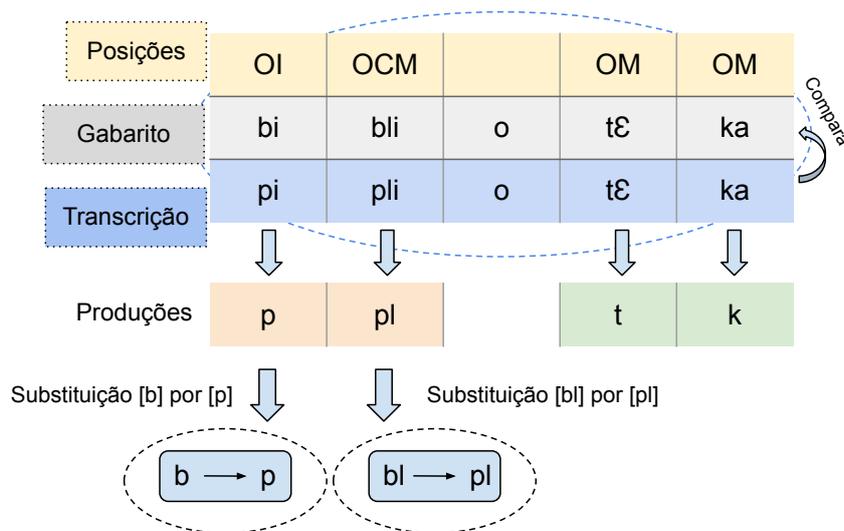


Figura 5. Exemplo de Realização de Fonemas e Encontros Consonantais: Acervo Pessoal

No exemplo, usando a palavra “biblioteca”, da esquerda para a direita ocorreu uma substituição do fonema [b] por [p] no Onset Inicial, seguido por uma substituição do encontro consonantal [bl] por [pl] no Onset Complexo Medial. Destaca-se que a vogal não é considerada, pois somente os sons consonantais são trabalhados na análise contrastiva. Por fim, nos dois últimos Onset Mediais ocorreu uma produção correta do fonema [t] e do fonema [k]. Através dessa análise, onde a contagem de cada fonema é realizada, obtem-se o inventário fonético da criança, o qual será detalhado na próxima seção.

3.4. Caracterização do Inventário Fonético

Esta etapa consiste em obter o inventário fonético da criança através da realização das etapas anteriores, observando os fonemas que ela consegue produzir, ou seja, sua capacidade articulatória [Pagliarin 2009].

Conforme visto nas Seções 3.2 e 3.3, são registradas o número de produções para cada fonema, incluindo fonemas usados em substituições. Como o objetivo do inventário fonético é fornecer todos os fonemas que a criança consegue produzir, não importa se o fonema foi utilizado incorretamente, e sim, se ele foi produzido ou não. A Figura 6 apresenta um exemplo de como isso é feito.

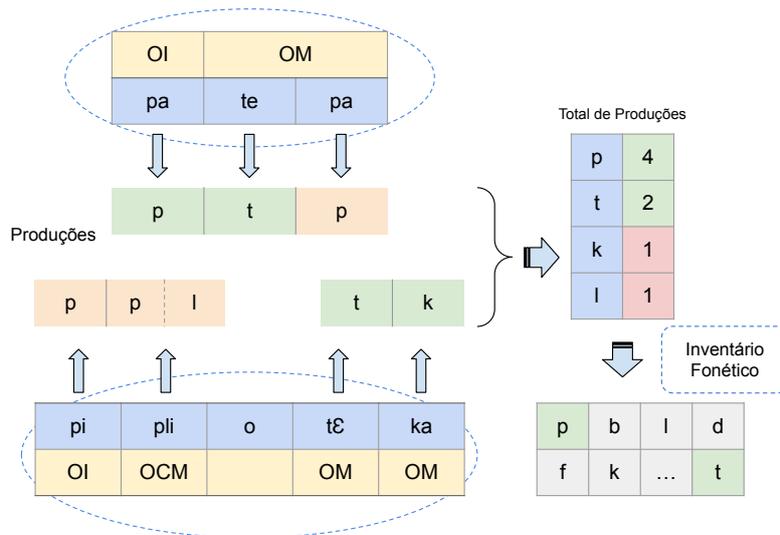


Figura 6. Exemplo de construção do Inventário Fonético: Acervo Pessoal

No exemplo da Figura 6 está exemplificada uma avaliação com a transcrição da palavra “pateta” e “biblioteca”. Cada posição da palavra é analisada separadamente e registra-se as produções de fonemas que ocorreram em cada uma delas. A seguir, levando em consideração as duas transcrições, conta-se quantas produções ocorreram para cada fonema. Percebe-se que, para o fonema [p] ocorreram 4 produções, sendo 2 produções na transcrição “patepa” e 2 na transcrição “piplioteka”.

Para determinar a presença ou ausência do som no inventário fonético, pode ser considerado o mínimo de duas ocorrências do segmento, independente da posição na palavra [Stoel-Gammon 1985]. No exemplo, os fonemas [k] e [l] não são considerados no inventário fonético, pois tiveram menos de duas produções. Na tabela no canto inferior direito, contendo o inventário fonético, somente os fonemas com duas ou mais produções foram considerados adquiridos pela criança (verde) dentre outros que ainda não foram (cinza).

3.5. PCC-R

Ao final das etapas tem-se todas as variáveis para o cálculo do valor PCC-R de [Shriberg et al. 1997a], onde somam-se todas as produções corretas e divide-se pelo total de produções (corretas, omissões e substituições). Através da Equação 1, é possível determinar esse valor, onde PC significa o *Número de Produções Corretas* e TP o *Total de Produções*.

$$PCCR = \frac{PC}{TP} \times 100 \quad (1)$$

Utilizando o exemplo visto na Figura 6, é possível calcular o PCC-R com base no número de produções em verde (esquerda), isto é, produções corretas dos fonemas [p], [t] e [k], totalizando 4 Produções Corretas (PC). Em seguida, soma-se o Total de Produções e substitui na fórmula do PCC-R, obtendo a Equação 2.

$$\text{PCCR} = \frac{4}{8} \times 100 = 50\% \quad (2)$$

Vale ressaltar, que o resultado visto na Equação 2 é apenas um exemplo de aplicação do PCC-R e não pode ser considerado válido, tendo em vista que se utilizou apenas de 2 transcrições de palavras diferentes. Para que esse valor seja confiável são consideradas todas as palavras de uma avaliação fonológica do paciente, as quais devem incluir uma variedade de fonemas em diferentes posições da sílaba e da palavra. Se aplicado de forma adequada, o resultado dessa equação é a porcentagem de sons consonantais que foram articulados corretamente [Shriberg et al. 1997a, Shriberg et al. 1997b], o que indica a gravidade do transtorno fonológico de acordo com a Tabela 3.

Valor PCC-R	Grau de Desvio
Menor que 50%	Alto
Entre 51% e 65%	Moderado-Alto
Entre 66% e 85%	Baixo-Moderado
Maior que 85%	Baixo

Tabela 3. Indicação de desvio fonológico de acordo com o valor PCC-R. [Shriberg et al. 1997b]

4. Implementação

Nesta Seção serão abordados os detalhes técnicos da implementação do Módulo de Análise Contrastiva, cujo funcionamento foi apresentado na Seção 3. Primeiramente, serão apresentadas as interfaces de usuário relacionadas ao trabalho. Posteriormente serão abordados os algoritmos implementados na API REST da plataforma e-Fono e, por último, os detalhes de como o banco de dados utilizado para armazenar e recuperar as informações do módulo ficou estruturado.

4.1. Interface de Usuário

Nessa subseção serão apresentadas as interfaces de usuário do novo módulo integradas à Plataforma e-Fono. Primeiramente, para contextualizar o leitor, serão apresentadas as telas desenvolvidas em trabalhos anteriores, apontando quais elementos interessam ao presente trabalho e os que foram incluídos pelo mesmo. Após isso, o Módulo de Análise Contrastiva será mostrado graficamente e seu funcionamento será aprofundado utilizando-se de exemplos vistos nas seções anteriores.

4.1.1. Avaliações Fonológicas e o Novo Módulo

A tela que mostra os dados de um paciente pode ser visualizada na Figura 7, desenvolvida em trabalhos anteriores, sendo os itens (1) e (2) adicionados pelo presente trabalho. O PCC-R é mostrado no item (1) e é calculado considerando os dados de todas as palavras da última avaliação do paciente. Já o inventário fonético pode ser acessado através do botão no item (2) e seu conteúdo será visto posteriormente.

The screenshot shows the 'eFono' interface with a pink header. The main content area is titled 'Leca' and 'Detalhes do paciente'. It contains several input fields for patient information: 'Nome do responsável' (João Carlos Lima), 'Data de nascimento' (1/1/2019), 'Data do cadastro' (1/25/2021, 11:58:25 PM), and 'Data da última atualização' (1/25/2021, 11:58:25 PM). A 'PCC-R: 67%' is displayed with a circled '1'. Below this is a button labeled 'Ver Inventário Fonético' with a circled '2'. A 'Voltar' button is in the top left. At the bottom, there is a table titled 'Avaliações realizadas:' with a search icon circled '3'.

Avaliação	Data de início	Status
Avaliação padrão	1/25/2021, 11:58:44 PM	Aguardando revisão

Figura 7. Tela para visualização dos dados do paciente: Acervo Pessoal

Por último, cada avaliação é acessada pelo botão no item (3), o qual irá apresentar uma página com todos os dados da avaliação, incluindo as palavras-alvo e suas transcrições, como mostra a Figura 8.

The screenshot shows the 'eFono' interface with a pink header. The main content area is titled 'Leca - Avaliação padrão' and 'Detalhes da avaliação do paciente'. It contains several input fields for evaluation details: 'Status da avaliação' (Aguardando revisão), 'ID único da avaliação' (600f85640943a400135defb8), 'Paciente' (Leca), 'Idade do paciente quando a avaliação foi atualizado' (2), 'Nome da avaliação' (Avaliação padrão), 'Descrição da avaliação' (Avaliação padrão para testes), 'Data de criação da avaliação' (1/25/2021, 11:58:44 PM), and 'Data da última atualização da avaliação' (1/26/2021, 12:43:52 AM). A 'Voltar' button is in the top left. Below this is a table titled 'Palavras alvo já recebidas:' with a search icon circled '4'.

Palavra alvo	Transcrição	Classificação computador	Revisão manual
anel	[a'neɪ]	Válido	Válido
casa	['kazə]	Inválido	Válido

Figura 8. Tela para visualização de uma avaliação do paciente: Acervo Pessoal

Conforme abordado na Seção 3.1, cada avaliação possui diversas palavras-alvo, sendo que a análise contrastiva é realizada separadamente sobre cada uma delas através do botão no item (4), levando o usuário para uma página contendo os formulários de Realização dos Fonemas e Encontros Consonantais automaticamente preenchidos com base na transcrição de cada palavra-alvo.

4.1.2. Realização dos Fonemas e Encontros Consonantais

Tanto a etapa da Realização dos Fonemas quanto a etapa da Realização dos Encontros Consonantais foram implementadas na Plataforma web do sistema e-Fono no formato de formulários de tabelas, e podem ser vistas nas Figura 9 e Figura 10.

Entretanto, vale ressaltar que, em um primeiro momento, os formulários foram preenchidos manualmente pelo fonoaudiólogo e armazenados na plataforma, o que já indica um avanço em relação ao processo manual em termos de integridade e segurança dos dados. Isso foi feito para se ter um entendimento de como funciona o método usado pelos fonoaudiólogos para o preenchimento, isto é, como eles pensam e quais dados observam para fazer a análise contrastiva para que isso pudesse ser transformado em um algoritmo implementável na plataforma, o qual será abordado na Seção 4.2.

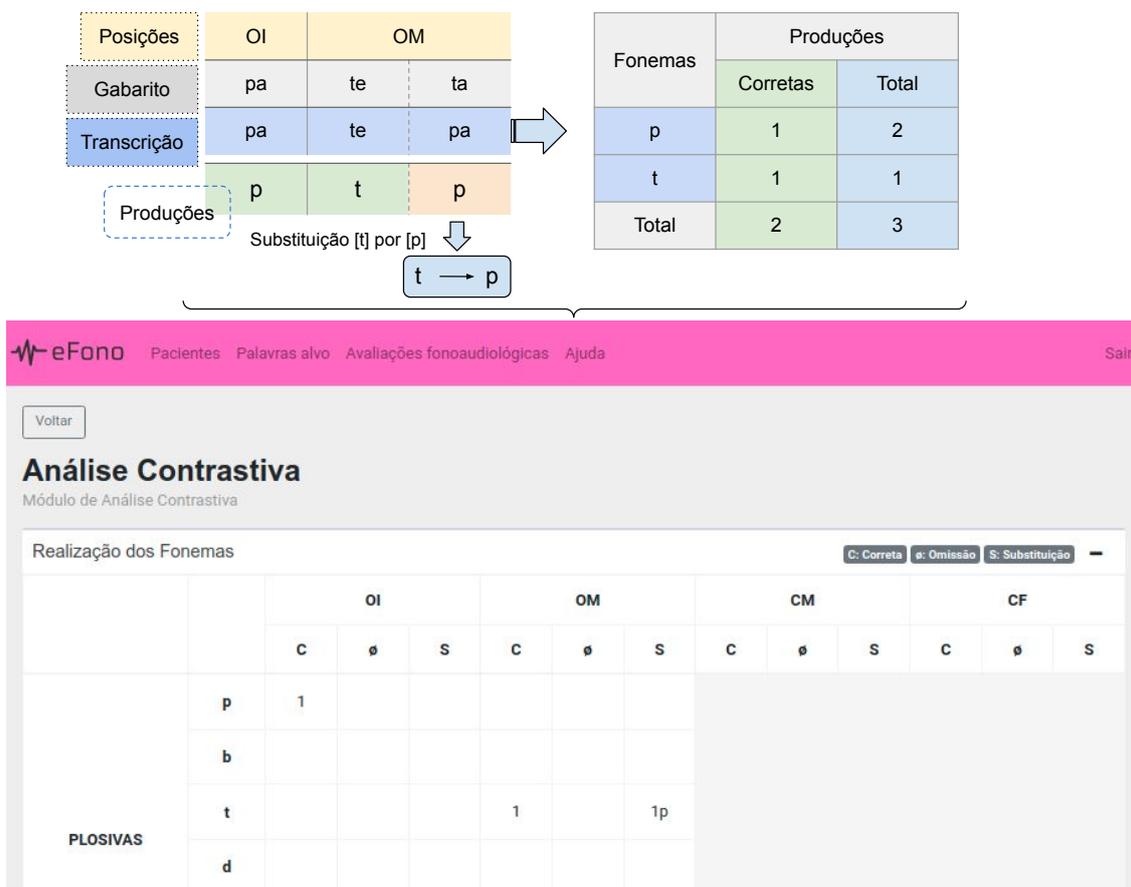


Figura 9. Tela para Realização dos Fonemas: Acervo Pessoal

A Figura 9 apresenta um exemplo de como as informações de uma transcrição fi-

cam dispostas na tela do usuário e o que cada uma dessas informações representa. Pode-se perceber que ocorreu uma produção correta para o fonema [p] (coluna C do Onset Inicial OI), uma correta para o fonema [t] (coluna C do Onset Medial OM) e uma substituição do fonema [t] por [p] (coluna S do Onset Medial OM). Por outro lado, eram esperadas duas produções corretas para o fonema [t], sendo que nesse caso, o número “2” estaria no lugar do “1” na coluna C. Porém, apenas uma produção aconteceu corretamente, enquanto que a outra foi substituída por [p]. Essa última informação fica representada como *1p* na coluna de substituições (S), sinalizando que uma produção do [t] foi substituída por [p].

Já a Figura 10 mostra a tela para apresentar informações referentes aos encontros consonantais, e nela pode ser visto o valor *1pl* na coluna S (substituições), indicando que o encontro *bl* foi substituído uma vez por *pl* na região OCM da palavra, conforme foi visto no exemplo da Figura 5.

	OCI			OCM		
	C	Ø	S	C	Ø	S
pr						
pl						
br						
bl						1pl

Figura 10. Tela para Realização dos Encontros Consonantais: Acervo Pessoal

Por fim, é importante salientar que os dados apresentados nas telas possuem uma formatação correta que deve ser seguida e mantida em caso de edição. Essa formatação refere-se ao preenchimento de cada célula na tabela, por exemplo: em caso de substituição, primeiro se insere um número que indica quantas vezes aquela substituição ocorreu seguido do fonema substituído. No caso da Figura 10, o “1pl” na linha do encontro [bl] está dando a informação de que o encontro [bl] foi substituído uma vez pelo encontro [pl]. Foi usado esse tipo de formatação pois o mesmo formato já é utilizado atualmente no processo manual de análise contrastiva.

A seguir, será abordado como o Inventário Fonético é apresentado ao usuário na plataforma.

4.1.3. Inventário Fonético

Nesta seção será apresentada a interface gráfica onde os dados do inventário fonético de um paciente são mostrados para o fonoaudiólogo.

É através dessa interface, vista na Figura 11, que o usuário tem acesso aos fonemas que a criança consegue produzir, ficando disponível através de um botão relacionado a cada paciente, e também através de cada avaliação.

No primeiro caso, o inventário fonético que é mostrado pelo botão 2 na Figura 7 mostra o inventário relacionado à última avaliação fonológica realizada pelo mesmo. Entretanto, também é associado um inventário fonético para cada avaliação, sendo consideradas somente as palavras faladas nela. Isso porque cabe ao inventário fonético registrar os sons que a criança consegue produzir e, no tratamento de transtornos fonológicos é comum que a criança passe por mais de uma avaliação, isto é, que ela seja reavaliada após um período com o objetivo de verificar a evolução do tratamento. Portanto, o inventário fonético pode mudar de avaliação para avaliação, dando ao fonoaudiólogo um histórico de mudanças na fala do paciente, sendo que o mesmo também acontece com o PCC-R.

The screenshot shows the 'eFono' interface with a navigation bar at the top containing 'Pacientes', 'Palavras alvo', 'Avaliações fonoaudiológicas', 'Ajuda', and 'Sair'. Below the navigation bar is a 'Voltar' button. The main heading is 'Análise Contrastiva' with the subtitle 'Inventário Fonético'. The table below is titled 'Caracterização do Inventário Fonético' and is organized as follows:

	Labial		Alveolar		Palato/Alveolar		Palatal	Velar	
Plosiva	p	b	t	d				k	g
Fricativa	f	v	s	z	ʃ	ʒ			R
Africada					tʃ	dʒ			
Nasal	m		n				ɲ		
Líquida Lateral			l				ʎ		
Líquida Não Lateral			r						
Glide	w						y		w
Outro									

At the bottom right of the table, there is a blue dashed circle containing the number '5' and a 'Salvar' button.

Figura 11. Tela com exemplo de Inventário Fonético: Acervo Pessoal

A Figura 11 mostra o inventário fonético completo, o qual é obtido quando uma criança consegue reproduzir todos os fonemas esperados nas suas avaliações. Entretanto, somente os fonemas destacados ([p] e [t]) correspondem ao inventário fonético de uma avaliação hipotética que foi exemplificada na Figura 6. O botão no item (5) salva as

alterações feitas pelo fonoaudiólogo, que é usado caso haja alguma discordância com as informações geradas pelo sistema. Esse botão está disponível em cada uma das telas vistas anteriormente, e seu funcionamento técnico será melhor descrito na Seção 4.2.

4.2. API REST

Nessa subseção serão apresentadas as implementações feitas na API REST do e-Fono desenvolvida em [Almeida 2018] e refatorada posteriormente em [Schmaedeck 2021]. Serão abordados os algoritmos utilizados para o preenchimento automático das etapas da Análise Contrastiva, vistas na Seção 3.

A principal dificuldade neste trabalho foi determinar uma forma de reconhecer na transcrição as posições da sílaba (OI, OM, OCI, etc.), para que as produções dos fonemas pudessem ser dispostas corretamente na tela do usuário. Para isso foi pensado um algoritmo, visto na Figura 12, o qual compara a transcrição dada com um conjunto de transcrições conhecidas para a palavra, as quais já se sabe as posições corretas dos fonemas. Destaca-se que é necessário procurar a transcrição mais semelhante com a transcrição dada, pois podem haver casos em que alguns fonemas são omitidos na fala, deixando lacunas que podem alterar a ordem correta das posições de cada fonema.

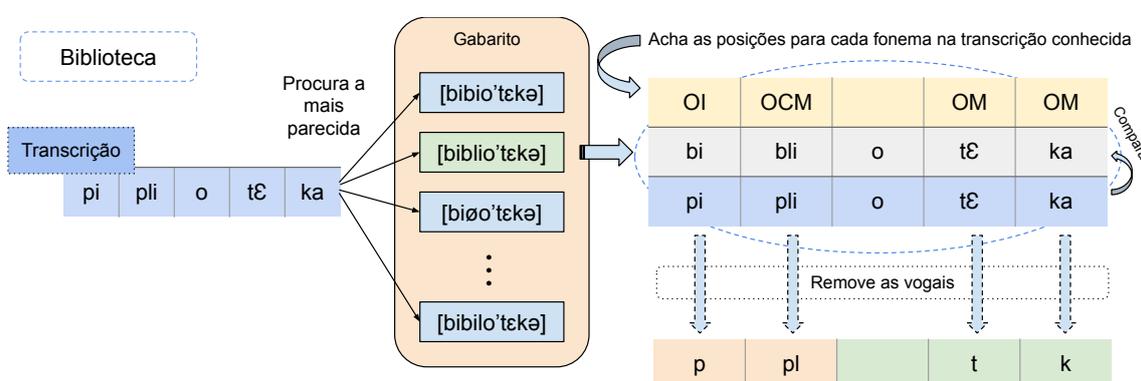


Figura 12. Algoritmo para reconhecer as posições dos fonemas dada uma transcrição desconhecida: Acervo Pessoal

Com o resultado fornecido por esse algoritmo, pode-se analisar cada fonema separadamente e preencher as telas vistas na Seção 4.1. Dessa forma, basta observar as diferenças entre a transcrição correta (cinza) e a transcrição analisada, contando as produções corretas, substituições e omissões.

Tendo em vista que a construção do inventário fonético e o PCC-R dependem dos dados de todas as transcrições de uma avaliação fonológica do paciente, basta contar o número de produções para cada fonema em cada transcrição e determinar se a criança adquiriu ou não aquele fonema. A Figura 13 demonstra esse processo de contagem dos fonemas e obtenção do inventário fonético, considerado o mínimo de duas ocorrências do segmento, independente da posição na palavra [Stoel-Gammon 1985].

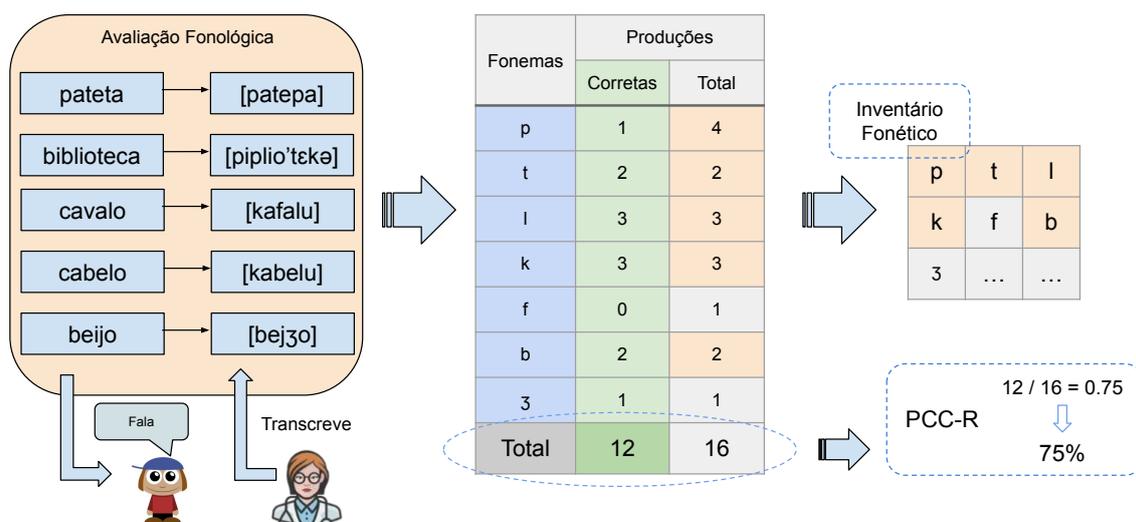


Figura 13. Algoritmo para obtenção do Inventário Fonético e PCC-R: Acervo Pessoal

Com a contagem das produções corretas, omitidas e substituídas já feita para determinar o inventário fonético, agora precisamos apenas dividir o total de produções corretas pelo total de produções para determinar o valor PCC-R. Todos esses processos somente ficam disponíveis ao final de uma avaliação, a fim de evitar gerar informações baseadas em dados parciais.

Por fim, o fonoaudiólogo consegue visualizar e editar as informações geradas pelo módulo de análise contrastiva nas interfaces apresentadas na Seção 4.1. Cabe agora ao fonoaudiólogo apenas revisar o que foi calculado pelo sistema, e em caso de discordância, é possível editar as tabelas e clicar no botão “Salvar”, disponível para cada uma delas. Esse botão irá fazer uma cópia dos dados atuais antes de sobrescrevê-los, a fim de preservar o que foi gerado pelo sistema para que se possa aprender com os mesmos e implementar possíveis melhorias em trabalhos futuros. Essa cópia fica acoplada a cada registro em um campo denominado *createdBySystem*, sendo que a presença desse campo indica que tal registro foi editado por um usuário, como será melhor visualizado na Seção 4.3.

A seguir, a Figura 14 ilustra o funcionamento interno da Plataforma e-Fono com as modificações para implementar a Análise Contrastiva.

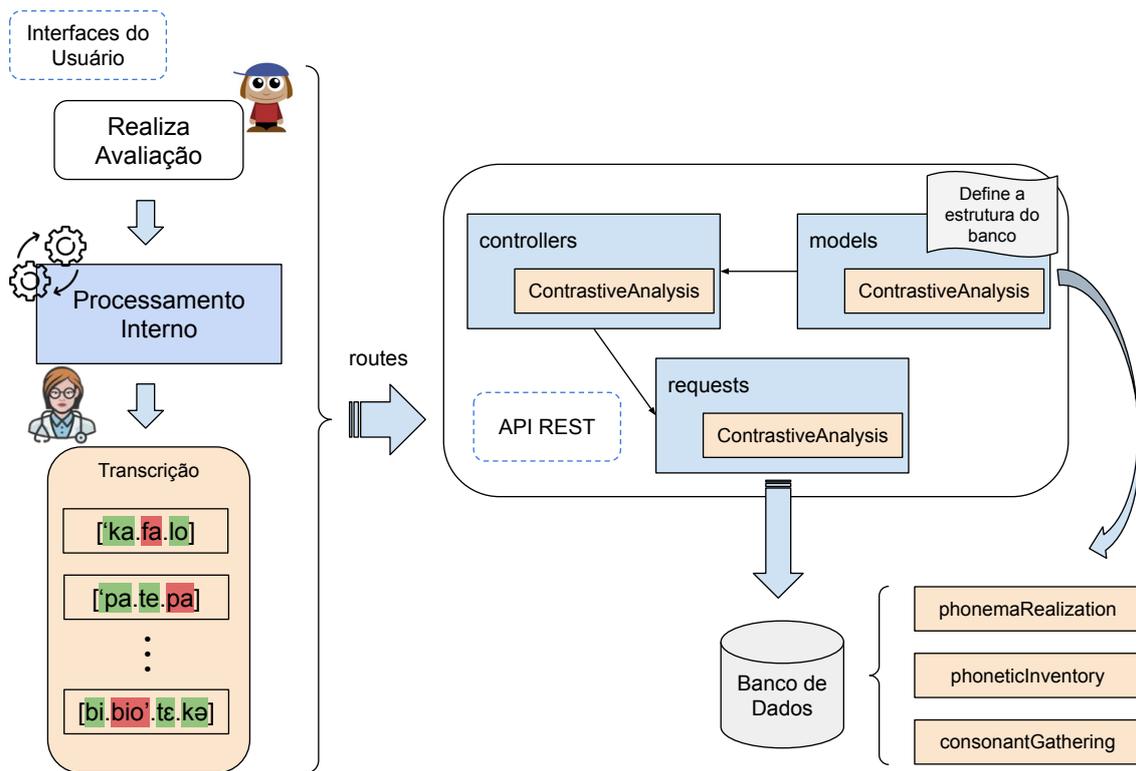


Figura 14. Arquitetura Geral: Acervo Pessoal

A Plataforma e-Fono utiliza o *framework* React para a construção das interfaces gráficas. Essas, por sua vez, usam “rotas” pré-definidas na API REST que são caminhos chamados pela interface para a execução de algum código nos “controllers”. Os modelos são classes que definem a estrutura de dados utilizadas na plataforma, que são os mesmos usados pelas requests para formatar como uma requisição ao banco deve ser feita, ou seja, como os dados devem estar formatados, quais parâmetros são obrigatórios, etc. Tais estruturas de dados serão abordadas na próxima seção.

4.3. Banco de Dados

A estrutura do banco de dados utilizado no sistema é definida pelos modelos utilizados na API REST. Como o formato utilizado pelos registros utiliza JSON, a estrutura pode ser facilmente definida e gerenciada usando os mesmos conceitos da linguagem. Um exemplo dessa estrutura pode ser visto na Figura 15.

```

export class PhoneticInventoryClass extends BaseModel {
  @prop()
  public patientEvaluationId?: string;

  @prop()
  public targetWordId?: string;

  @prop({ required: true })
  public plosiva!: Plosiva;

  @prop({ required: true })
  public fricativa!: Fricativa;

  @prop({ required: true })
  public africada!: Africada;

  @prop({ required: true })
  public nasal!: Nasal;

  @prop({ required: true })
  public glide!: Glide;

  @prop({ required: true })
  public outro!: Outro;

  @prop({ required: true })
  public liquida_lateral!: LiquidaLateral;

  @prop({ required: true })
  public liquida_ao_lateral!: LiquidaNaoLateral;

  @prop({ type: PhoneticInventoryClass, _id: false })
  public createdBySystem: PhoneticInventoryClass;
}

```

Figura 15. Estrutura de dados para armazenar informações sobre Inventário Fonético: Acervo Pessoal

É importante destacar o campo *createdBySystem*, o qual tem por finalidade armazenar uma cópia dos dados criados pelo sistema em caso de manipulação por parte dos usuários. Sempre que houver necessidade de mudança nos registros gerados pelo sistema, os mesmos são preservados no banco e as informações fornecidas pelo usuário são inseridas. A plataforma sempre irá considerar a última alteração, ou seja, aquela feita pelo usuário e os dados calculados como inventário fonético e PCC-R serão baseados nela.

Ainda, na Figura 16 é possível observar um exemplo de registro no banco usando a estrutura de dados apresentada na figura anterior. O registro representa os mesmos dados apresentados pela tela vista na Figura 11, a qual mostra a primeira linha com os fonemas [p] e [b] na coluna labial.

No banco, cada linha é representada por um objeto e cada coluna um atributo do mesmo. Portanto, os fonemas [p] e [b] são guardados no registro pelo objeto “plosiva-labial[0]” e “plosiva-labial[1]”, respectivamente, conforme visto na Figura 16.

```

    _id: ObjectId("61fec0a64c6f992347b30d66")
    isDeleted: false
    patientEvaluationId: "600f85640943a400135defb8"
    targetWordId: "600f3ccbfc09b04f3ec5c2ff"
    __v: 0
  > africada: Object
    createdAt: 2022-02-05T18:23:34.878+00:00
  > fricativa: Object
  > glide: Object
  > liquida_lateral: Object
  > liquida_nao_lateral: Object
  > nasal: Object
  > outro: Object
  ✓ plosiva: Object
    ✓ labial: Array
      0: "p"
      1: "b"
    > alveolar: Array
    > velar: Array
  updatedAt: 2022-02-08T17:09:27.542+00:00

```

Figura 16. Registro de Inventário Fonético no Banco de Dados: Acervo Pessoal

Tendo em vista a implementação da Análise Contrastiva feita por este trabalho, a qual possibilitou chegar ao inventário fonético da criança e ao valor PCC-R pensa-se que o fonoaudiólogo que usar a plataforma terá um ambiente mais completo e rico em informação. Tais contribuições visaram sempre em aprimorar a Plataforma e-Fono, trazendo mais funcionalidades que podem auxiliar o fonoaudiólogo, bem como seu paciente, na superação de transtornos fonológicos.

5. Conclusão

A Plataforma e-Fono está em constante desenvolvimento para auxiliar cada vez mais o fonoaudiólogo a identificar e tratar transtornos fonológicos em crianças na sua fase de desenvolvimento. Observou-se, porém, que o sistema apesar de obter uma quantidade considerável de dados das avaliações fonológicas não tinha um estudo mais aprofundado sobre elas.

O presente trabalho então propôs o desenvolvimento de um Módulo para Análise Contrastiva, onde os dados gerados nas avaliações fonológicas seriam consumidos, com o objetivo de obter o inventário fonético da criança bem como determinar o valor PCC-R de [Shriberg et al. 1997a]. Através disso, o fonoaudiólogo poderia ter um entendimento mais detalhado sobre a fala da criança, isolando posições dos fonemas na sílaba e na palavra que necessitariam de uma atenção especial. Ainda, com o PCC-R indicando a gravidade do transtorno fonológico da criança, é possível realizar um tratamento condizente com a situação enfrentada e também mais direcionado, focando a terapia em fonemas ainda não adquiridos observados no inventário fonético implementado na plataforma.

Além de fornecer um ambiente digital para a realização da Análise Contrastiva, o módulo também oferece o preenchimento automático da mesma, facilitando o trabalho do fonoaudiólogo. Contudo, por ser um módulo novo algumas instabilidades podem ocorrer e, para que isso não seja um empecilho no uso, é fornecida também a possibilidade de edição dos dados gerados pelo sistema. Tal mecanismo de edição armazena uma cópia dos dados gerados pela ferramenta e sobrescreve com os dados do usuário, por questões de segurança e integridade dos dados.

Embora este trabalho tenha alcançado os objetivos de obter o inventário fonético e o PCC-R com a Análise Contrastiva, não foi possível determinar o Sistema Fonológico Completo da criança, pois é uma tarefa um pouco mais complexa e detalhada que exige mais tempo de desenvolvimento. Entretanto, a base de dados contendo as informações necessárias para geração do sistema fonológico já está implementada, deixando essa oportunidade para trabalhos futuros.

Pensa-se também que os dados gerados pela Análise Contrastiva poderiam ser consumidos por um outro módulo, pesquisando por padrões de erros cometidos pelo sistema a fim de aperfeiçoá-lo. Tendo em vista que os dados gerados pelo Módulo de Análise Contrastiva sempre ficam salvos, é possível usá-los para aprender com as diferenças entre os dados gerados e os inseridos pelo fonoaudiólogos.

Referências

- Almeida, A. T. R. d. (2018). Desenvolvimento de uma api rest para um sistema de auxílio na triagem de desordens da fala infantil. *Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria*.
- Franciscatto, M. H. et al. (2020). Towards a speech therapy support system based on phonological processes early detection.
- Gassen, F. H. d. S. (2021). Sistema de identificação digital por voz para integração com um aplicativo de auxílio às avaliações fonológicas infantis. *Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria*.
- Goulart, B. N. G. d. and Chiari, B. M. (2014). Distúrbios de fala e dificuldades de aprendizagem no ensino fundamental. *Revista CEFAC*.
- Melo, R. M., Backes, F. T., and Mota, H. B. (2015). Percepções de pais/responsáveis de crianças com desvio fonológico acerca do desvio fonológico e da terapia fonoaudiológica. *Revista CEFAC*.
- Moro, A. (2018). Aplicação mobile para triagem fonológica infantil. *Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria*.
- Othero, G. d. (2005). Processos fonológicos na aquisição da linguagem pela crianças. *Revista Virtual de Estudos da Linguagem - ReVEL*.
- Pagliarin, K. C. (2009). A abordagem contrastiva na terapia fonológica em diferentes gravidades do desvio fonológico. *Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria*.
- Prates, L. and Martins, V. d. O. (2011). Distúrbios da fala e da linguagem na infância. *Revista Médica de Minas Gerais*, 21(4 Supl 1):S54–S60.
- Schirmer, C. R., Fontoura, D. R., and Nunes, M. L. (2004). Distúrbios da aquisição da linguagem e da aprendizagem. *Jornal de pediatria*, 80(2):95–103.

- Schmaedeck, M. V. (2021). Sistema para construção e revisão de avaliações fonológicas voltadas a triagem de distúrbios dos sons da fala em crianças. *Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria*.
- Shriberg, L. et al. (1997a). The percentage of consonants correct (pcc) metric: extensions and reliability data.
- Shriberg, L. et al. (1997b). The speech disorders classification system (sdcs) extensions and lifespan reference data.
- Silva, T. C. (1999). *Fonética e fonologia do português: roteiro de estudos e guia de exercícios*. Contexto.
- Stoel-Gammon, C. (1985). Phonetic inventories, 15-24 months: a longitudinal study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28:505–512.