

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

ANDRÉ STYLIANOS RAMOS

**UM SISTEMA WEB INTELIGENTE PARA A TRANSCRIÇÃO DE
PARTITURAS EM TABLATURAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015

ANDRÉ STYLIANOS RAMOS

**UM SISTEMA WEB INTELIGENTE PARA A TRANSCRIÇÃO DE
PARTITURAS EM TABLATURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos N. Silla Jr.

Co-orientador: Prof. Dr. Danilo S. Sanches

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Cornélio Procópio
Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



FOLHA DE APROVAÇÃO

André Stylianos Ramos

UM SISTEMA WEB INTELIGENTE PARA A TRANSCRIÇÃO DE PARTITURAS EM TABLATURAS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado na data **19/11/2015** do curso de **Engenharia de Computação** da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Computação**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Prof. Dr. Carlos N. Silla Jr. – Presidente (Orientador)

Prof. Dr. Willian M. Watanabe (Membro)

Prof. Dr. André Y. Kashiwabara (Membro)

RESUMO

S. RAMOS, André. UM SISTEMA WEB INTELIGENTE PARA A TRANSCRIÇÃO DE PARTITURAS EM TABLATURAS. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Programa de Graduação em Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

Este trabalho aborda o problema de transcrição automática de partituras em tablaturas por meio de algoritmos bio-inspirados, mais especificamente utilizando o algoritmo de colônia de formigas. Este é um problema de complexidade exponencial que aumenta de complexidade em função da quantidade de notas da música sendo transcrita. Esse problema se torna mais complexo quando se leva em consideração o tempo de execução do algoritmo, uma característica que se deseja minimizar no caso de se disponibilizar a ferramenta desenvolvida para uso pelo público, como no caso deste trabalho. O algoritmo desenvolvido foi disponibilizado no formato de um serviço web com base em arquitetura REST, sendo desenvolvido em conjunto um protótipo de cliente para demonstrar as possibilidades de uso deste serviço.

Palavras-chave: Computação Musical, Computação Bio-Inspirada, Colônia de Formigas

ABSTRACT

S. RAMOS, André. AN INTELLIGENT WEB SYSTEM FOR THE TRANSCRIPTION OF MUSIC SHEETS INTO TABS. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Programa de Graduação em Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

This work addresses the problem of automatic transcription of music sheet into tabs by means of bio-inspired computing algorithms, more specifically by using the ant colony algorithm. This problem has an exponential complexity that rises in complexity in function of the quantity of notes from the music being transcribed. It becomes even more complex when the algorithm's running time is taken into account. One property that one wishes to minimize in the case of providing the developed tool for use by the public, as is the case in this project. The developed algorithm is made available in the form of a web service based on the REST architecture, developed together with a prototype client that demonstrates the possibilities of usage of this service.

Keywords: Music Computing, Bio-inspired Computing, Ant Colony

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Exemplo de partitura e tablatura.	12
FIGURA 2	– Sistemas de representação de notas.	15
FIGURA 3	– Representação da nota <i>D</i> sendo modificada por diversos acidentes.	15
FIGURA 4	– Mapeamento de posições da nota <i>C</i> na oitava 5 no braço do violão.	19
FIGURA 5	– Possível transcrição para uma sequência de três notas.	19
FIGURA 6	– Uma transcrição com duas posições adjacentes muito distantes.	20
FIGURA 7	– Demonstração de grafo referente à quatro notas.	23
FIGURA 8	– Possível caminho partindo da posição um da primeira nota.	24
FIGURA 9	– Solução final.	25
FIGURA 10	– Representação de probabilidades de escolha entre dois caminhos para uma formiga.	26
FIGURA 11	– Estrutura do algoritmo de transcrição.	34
FIGURA 12	– Diagrama de sequência da interação de um usuário.	35
FIGURA 13	– Caso de uso do sistema	36
FIGURA 14	– Gráfico do fitness em relação a quantidade de notas das músicas.	40
FIGURA 15	– Histograma com a frequência de distância de deslocamentos (394 notas).	40
FIGURA 16	– Histograma com a frequência de distância de deslocamentos (98 notas). ..	41
FIGURA 17	– Ferramentas existentes, música de 45 notas.	41
FIGURA 18	– Ferramenta desenvolvida, música de 45 notas.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Valores do <i>alter</i> para acidentes no MusicXML.	31
TABELA 2	– Ferramentas existentes.	37
TABELA 3	– Músicas selecionadas para os experimentos.	38
TABELA 4	– Valor de fitness da transcrição resultante.	39

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	– Operadores do ACO	24
QUADRO 2	– Exemplo de trecho de um arquivo MusicXML.	31
QUADRO 3	– Exemplo de notação de tablatura de um arquivo MusicXML.	33
QUADRO 4	– Requisição de transcrição.	35

LISTA DE SIGLAS

ACO	Ant Colony Optimization
API	Application Programming Interface
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JAX-RS	Java API for RESTful Web Services
JSON	JavaScript Object Notation
MEI	Music Encoding Initiative
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
REST	Representational State Transfer
SPA	Single Page Application
XML	Extensible Markup Language

LISTA DE SÍMBOLOS

t	Instante de tempo
α	Importância relativa do feromônio
β	Importância relativa da informação heurística
m	Quantidade de formigas
ρ	Constante de evaporação
Q	Constante de qualidade do feromônio
η	Valor heurístico de um caminho
τ	Quantidade de trail em uma aresta
L	Distância entre duas arestas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivos Gerais	12
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	ORGANIZAÇÃO DA PROPOSTA	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	TEORIA MUSICAL	14
2.1.1	Nota	14
2.1.2	Acidentes	15
2.1.3	Oitava	15
2.2	INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL	16
2.2.1	Algoritmo Colônia de Formigas	16
2.3	REST API	17
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	19
4	TRABALHOS RELACIONADOS	21
5	METODOLOGIA	23
5.1	TRANSCRIÇÃO	23
5.1.1	Operadores	24
5.1.2	Execução	25
5.1.3	Atualização de feromônio	27
5.1.4	Função Heurística	27
5.2	SISTEMA WEB	29
6	TECNOLOGIAS UTILIZADAS	30
6.1	MUSICXML	31
7	ARQUITETURA DO SISTEMA	33
7.1	ESTRUTURA DO ALGORITMO DE TRANSCRIÇÃO	33
7.2	SERVIÇO RESTFUL	34
7.3	CLIENTE ANGULARJS	35
8	EXPERIMENTOS	37
8.1	METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS	38
8.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	39
9	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45
	Apêndice A – 45 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	48
	Apêndice B – 45 NOTAS: ACO	49
	Apêndice C – 59 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	50
	Apêndice D – 59 NOTAS: ACO	52
	Apêndice E – 98 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	53
	Apêndice F – 98 NOTAS: ACO	55
	Apêndice G – 151 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	57

Apêndice H – 151 NOTAS: ACO	59
Apêndice I – 202 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	62
Apêndice J – 202 NOTAS: ACO	65
Apêndice K – 248 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	68
Apêndice L – 248 NOTAS: ACO	71
Apêndice M – 304 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	74
Apêndice N – 304 NOTAS: ACO	79
Apêndice O – 338 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	83
Apêndice P – 338 NOTAS: ACO	87
Apêndice Q – 394 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	92
Apêndice R – 394 NOTAS: ACO	97
Apêndice S – 475 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE	102
Apêndice T – 475 NOTAS: ACO	108

1 INTRODUÇÃO

A notação musical é o meio pelo qual composições musicais são registradas e compartilhadas. O formato de partituras tem uma utilização quase universal (ROLAND, 2002), dado que este é um formato altamente padronizado e compreendido por músicos de todas as nações. A notação musical consiste de símbolos que representam os sons emitidos pelos instrumentos musicais. Por meio destes símbolos é possível representar o ritmo, as pausas e todas as outras informações que descrevem como uma música deve ser tocada.

Os instrumentos de corda, como o violão ou o cavaquinho, produzem sons a partir da vibração de suas cordas. Variações de sonoridade são criadas pressionando-se a corda sendo tocada em uma das casas do braço do instrumento, fazendo com que a frequência de vibração, e com isso a sonoridade, mude (FRENCH, 2008). O formato do braço destes instrumentos permite que uma mesma nota, com a mesma sonoridade, possa ser tocada em mais de uma posição no braço do instrumento.

As partituras apresentam vários aspectos positivos entretanto, são um formato de leitura difícil (GAARE, 1997), característica que torna mais complexa a sua reprodução em instrumentos de corda. Este fator explica o fenômeno da popularização de outro formato de notação musical, a tablatura, que hoje se tornou o principal meio de compartilhamento de músicas entre guitarristas na internet (BURLET; FUJINAGA, 2013). As tablaturas indicam em linhas, que representam as cordas do braço de um instrumento, quais casas devem ser pressionadas nas cordas que serão tocadas para se reproduzir a música. Ritmos e pausas não são levados em consideração.

Na Figura 1 é apresentado um exemplo de partitura e uma de suas possíveis tablaturas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O formato de tablaturas é um formato mais intuitivo em relação a partitura (VANZELA; VANZELA, 2014) e por esse motivo, atualmente, muitos músicos menos

The image shows a musical score and its corresponding guitar tablature. The score is written in treble clef with a 4/4 time signature and a key signature of one sharp (F#). The melody consists of eight notes: G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, and G5. The tablature below shows the fret positions for each note: 0, 2, 0, 0, 4, 5, 0.

Figura 1: Exemplo de partitura e tablatura.

experientes não sabem ler partituras e mesmo aqueles que sabem podem preferir tablaturas por eliminar a necessidade de se transcrever as notas para posições no braço do violão, as quais são múltiplas para cada nota da partitura.

Sabendo que para cada nota pode-se ter em média 3 posições, para uma música de n notas pode-se ter 3^n possíveis tablaturas (TUOHY; POTTER, 2005). Se considerando uma música com 400 notas tem-se então um espaço de busca com aproximadamente 7×10^{190} soluções.

Esses fatores apresentam então um obstáculo para músicos iniciantes que desejam aprender a tocar músicas que se encontram apenas no formato de partitura. Neste sentido, o desenvolvimento de um sistema que realize a transcrição automática de partituras em tablaturas disponibilizaria um enorme acervo de músicas encontradas apenas no formato de partitura à aqueles que não possuem a experiência necessária para tirar proveito de músicas disponibilizadas neste formato. Para se desenvolver um sistema que possa ser utilizado em tempo real deve-se diminuir o tempo de busca por uma solução ótima, motivando então uma pesquisa por um algoritmo que obtenha soluções satisfatórias mais rapidamente do que os algoritmos considerados estado-da-arte para este domínio.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são divididos entre gerais e específicos.

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema web que faça o uso de algoritmos de inteligência artificial, mais especificamente computação bio-inspirada, para realizar a

transcrição automática de partituras em tablaturas. O sistema será hospedado e disponibilizado online para uso geral.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar o algoritmo colônia de formigas para fazer a transcrição automática de partituras em tablaturas.
- Utilizar como entrada arquivos no formato MusicXML.
- Fornecer na saída do algoritmo um arquivo MusicXML contendo a partitura original juntamente com a tablatura gerada.
- Desenvolver um serviço web utilizando o algoritmo criado, expondo as funcionalidades deste por meio de APIs (Application Programming Interface) baseadas em REST, ou Representational State Transfer.
- Desenvolver um cliente que faça uso do serviço desenvolvido.
- Publicar o método desenvolvido.
- Obter a patente de software.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta esta organizada da seguinte maneira, no Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica para a realização deste trabalho. No Capítulo 3 é descrito o problema para qual a solução é desenvolvida. Os trabalhos relacionados são analisados no Capítulo 4. O sistema de transcrição desenvolvido é descrito no Capítulo 5, com as tecnologias utilizadas discutidas no Capítulo 6. A arquitetura do sistema é apresentada no Capítulo 7. Os experimentos e as suas metodologias, juntamente com a análise dos resultados, são discutidas no Capítulo 8. As conclusões são apresentadas no Capítulo 9.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TEORIA MUSICAL

Este problema de natureza musical se torna mais facilmente compreendido após se ter um conhecimento básico sobre teoria musical. Com o intuito de explicar os conceitos necessários de teoria musical esta seção foi baseada no livro de Med (1996).

Primeiramente deve-se definir o que é música, e do que se constitui. De acordo com Med (1996):

“MÚSICA é a arte de combinar os sons simultânea e sucessivamente, com ordem, equilíbrio e proporção dentro do tempo.”

As partes da música que contêm sons reproduzidos em ordem sucessiva são chamadas de melodias. As partes onde os sons são reproduzidos em paralelo são chamadas de harmonias. Neste sentido este trabalho se concentra apenas na transcrição de melodias, sendo a extensão deste sistema para uso em harmonias sugerido como um possível trabalho futuro.

Os sons são produzidos, no caso de instrumentos de corda, pelas ondas sonoras resultantes da vibração das cordas do instrumento. Esta vibração determina uma das características deste som de acordo com a sua frequência, quanto maior for esta frequência, mais agudo será o som produzido.

2.1.1 NOTA

No Brasil, o sistema de notas silábico é o mais utilizado para representar os sons presentes nas músicas, mas neste trabalho é utilizado o sistema alfabético por ser o utilizado em arquivos MusicXML. Na Figura 2 é apresentado o sistema alfabético e sua relação com o sistema silábico utilizado no Brasil.

Os nomes das notas são cíclicas, sendo que ao se chegar na nota *B*, a próxima nota é novamente o *C*. A altura de uma nota é determinada pela frequência de vibração da corda, em

dó - ré - mi - fá - sol - lá - si (Sistema silábico)
C - D - E - F - G - A - B (Sistema alfabético)

Figura 2: Sistemas de representação de notas.

quantidade de vibrações por segundo.

2.1.2 ACIDENTES

O menor intervalo entre duas notas é chamado de semitom e um tom é a soma de dois semitons. Entre as notas *E* e *F*, e as notas *B* e *C* há um semitom, enquanto entre as outras notas vizinhas há um tom. A diferença de um semitom é a diferença de uma vibração por segundo entre uma nota e outra, podendo ser uma vibração a mais ou a menos e com isso um semitom mais agudo ou um semitom mais grave.

Um acidente é um sinal colocado antes de uma nota que modifica a altura desta nota e de todas notas iguais a essa até o fim do compasso. O sustenido eleva a altura da nota em um semitom e o bemol abaixa a altura da nota em um semitom; sendo assim ambos o *C* sustenido e o *D* bemol são soados pela mesma quantidade de vibrações e portanto possuem alturas iguais. O duplo sustenido e o duplo bemol elevam e abaixam a nota em um tom respectivamente. O bequadro anula o efeito de acidentes anteriores voltando a nota ao seu estado natural. Na Figura 3 são apresentados o duplo bemol, o bemol, o bequadro, o sustenido e o duplo sustenido alterando a nota *D* em sequência.

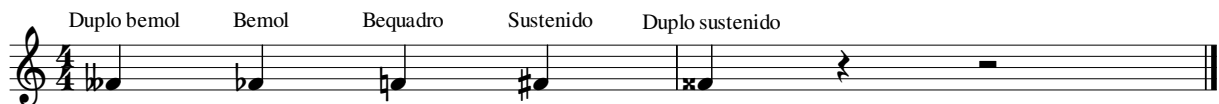


Figura 3: Representação da nota *D* sendo modificada por diversos acidentes.

2.1.3 OITAVA

Um intervalo é a diferença de altura entre dois sons e a classificação de intervalo é feito ao se contar a quantidade de notas encontradas entre duas notas. Sabendo-se que as notas tem comportamento cíclico e estas voltam a se repetir a cada sete notas, um intervalo de oitava é a diferença entre um *D* e um *D* oito notas acima. Uma nota e sua oitava são a mesma nota porém possuem alturas diferentes.

2.2 INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

O campo de inteligência artificial é um dos que mais cresce atualmente devido as suas diversas aplicações. Diversos campos de estudo hoje utilizam conceitos de inteligência artificial como computação evolutiva, redes neurais, lógica nebulosa (fuzzy), entre outros; sendo o primeiro citado o conceito que fundamenta este estudo. Inúmeras discussões surgem da relação entre inteligência e computação realizadas por máquinas, mas este ponto não será abordado nesta pesquisa.

Ainda hoje não há uma definição concreta do que é inteligência e se uma máquina pode ou não ser considerada inteligente. Neste trabalho sistemas inteligentes serão diferenciados de sistemas comuns por serem capazes de encontrar uma solução que estes não seriam capazes de encontrar. Quando se fala em encontrar uma solução é pelo fato de o objetivo primário de técnicas de inteligência artificial ser a busca (LINDEN, 2008). Se para um devido problema pode existir mais de uma solução, constituindo um espaço de soluções, a utilização de técnicas de inteligência artificial tem como motivação a busca pela melhor solução deste espaço. A utilização de algoritmos para realizar esta busca permite que sejam alcançadas soluções, as quais humanos conseguiriam ou não alcançar dependendo da quantidade de dados, em períodos de tempo mais curtos do que seria necessário caso outro método fosse utilizado para alcançar a melhor solução.

Sendo o objetivo deste trabalho o desenvolvimento de uma plataforma web que possa realizar a conversão automática de partituras em formato MusicXML para tablaturas, visando uma menor movimentação da mão ao longo do braço do violão, os algoritmos utilizados são aqueles que constituem a área denominada de computação bio-inspirada.

A computação bio-inspirada é baseada na observações de fenômenos naturais, tendo como objetivo alcançar a solução de problemas simulando estes fenômenos e utilizando representações computacionais destas soluções. Algoritmos deste tipo não garantem encontrar a solução ótima para o problema mas garantem ao menos encontrar uma solução sub-ótima e por esse motivo são extremamente utilizados em problemas onde o espaço de soluções é demasiadamente grande, não sendo viável a utilização de métodos que analisam todas as possíveis soluções.

2.2.1 ALGORITMO COLÔNIA DE FORMIGAS

Um dos algoritmos inspirados por fenômenos naturais é o Ant Colony Optimization, ou ACO. Ao estudar-se o comportamento de formigas de uma colônia recém criada, enquanto estas

procuram por alimentos para trazer de volta para a colônia, foi elaborada uma hipótese sobre o motivo da eficiência destas formigas ao encontrar com certa precisão um dos caminhos mais curtos existentes para fontes de comida (DENEUBOURG et al., 1990). A hipótese proposta se baseia em uma substância, chamada feromônio, depositada por cada formiga pelo caminho percorrido e que evapora com o passar do tempo. As formigas escolhem um caminho à percorrer com uma probabilidade proporcional à quantidade de feromônio existente em cada caminho possível.

Inicialmente todas as formigas escolhem direções aleatórias, com a mesma probabilidade para todos caminhos por ainda não existir feromônio em nenhum dos caminhos, para sair em busca de comida. As formigas caminham depositando à cada instante t de tempo uma quantidade x de feromônio, este evaporando parcialmente a cada instante de tempo t . Por fins de simplicidade assume-se que as formigas retornam para a colônia utilizando o mesmo caminho que já percorreram.

Analisando-se estes fatores, pode-se chegar à seguinte conclusão: as formigas que encontrarem o menor caminho para uma fonte de comida vão voltar mais rapidamente que as outras, fazendo com que o feromônio deste caminho se encontre em maior quantidade devido ao menor tempo que se decorreu para sua a evaporação antes que a formiga voltasse depositando mais feromônio (BLUM, 2005). Nas próximas repetições deste ciclo as formigas terão uma probabilidade maior de escolher o caminho com maior quantidade de feromônio criando assim um tipo de realimentação onde as formigas escolhem o caminho com mais feromônio e o caminho que mais formigas percorrem terá uma quantidade maior de feromônio depositado. O resultado deste ciclo é a concentração das formigas em um caminho que não necessariamente é o ideal mas sim um dos menores caminhos possíveis.

2.3 REST API

O termo REST, ou Representational State Transfer, foi apresentado por Fielding (2000) em sua tese de doutorado. Este termo descreve como um serviço web pode ser desenvolvido alavancando os padrões web já existentes e já validados. Pode-se dizer então que REST não é uma tecnologia em si, e nem um protocolo, mas sim uma forma de se projetar serviços fracamente acoplados baseados na exposição de recursos através de protocolos Hypertext Transfer Protocol (HTTP). A arquitetura de serviços baseados em REST é, então, uma forma de se utilizar todo o potencial da arquitetura web.

Serviços web baseados neste paradigma expõe recursos que podem ser utilizados por

aplicações ou até mesmo por outros serviços. Estes recursos podem ser implementados de diversas maneiras e apresentarem uma interface padrão, como exemplo pode-se pensar no recurso cliente; a interação com este recurso poderia ser feita através dos métodos GET para ler um cliente, POST para criar um cliente, PUT para atualizar um cliente e assim sucessivamente.

Outra característica importante do estilo REST é o fato de se tratar de uma comunicação sem estado ou seja, o serviço não deve manter estados. Isto significa que as comunicações de clientes com o servidor não mantém dados armazenados no servidor sobre sessões ou equivalente. Cada comunicação necessita então do envio de todo o conteúdo necessário para utilizar aquele recurso, com isso aumentando o tamanho e a redundância das mensagens mas ao mesmo tempo aumentando a escalabilidade do sistema que pode responder à requisições de mais clientes ao mesmo tempo.

Ao se expor os recursos deste modo, com interfaces padronizadas, aumenta-se a independência entre o serviço e a aplicação que consome esse serviço, podendo um ser atualizado independentemente do outro apenas mantendo-se a interface entre os dois compatíveis. A comunicação com este tipo de serviços é feita através de dados representados em formato XML (Extensible Markup Language), JSON (JavaScript Object Notation) ou até mesmo HTML (Hyper Text Markup Language).

Analisando-se estes fatores torna-se claro como uma arquitetura de sistema que possibilite a independência entre cliente e servidor, não necessite de armazenamento de dados do cliente no servidor e possibilite a comunicação através de arquivos XML se encaixa no contexto de uma aplicação web que tenha como entrada um arquivo XML, realize o processamento e retorne o XML modificado como resultado.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A disposição das notas no braço do violão se diferencia daquela encontrada em outros instrumentos, como o piano, pelo fato de que a mesma nota, na mesma oitava, pode ser tocada em mais de uma posição. Por exemplo, se pensarmos na tupla $\langle Casa, Corda \rangle$, a nota C5 pode ser tocada nas posições $\langle 2, 1 \rangle, \langle 3, 5 \rangle, \langle 4, 10 \rangle, \langle 5, 15 \rangle$ e $\langle 6, 20 \rangle$ como mostrado na Figura 4, gerada utilizando a ferramenta VexFlow desenvolvida por (CHEPPUDIRA, 2010).

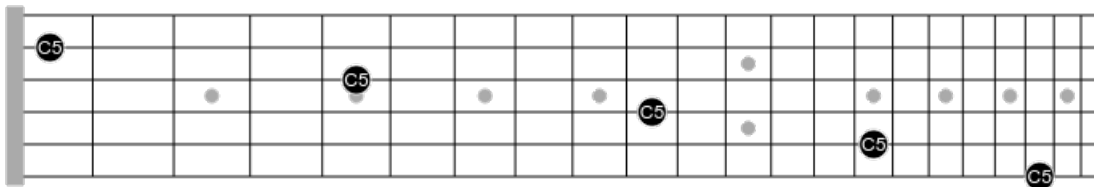
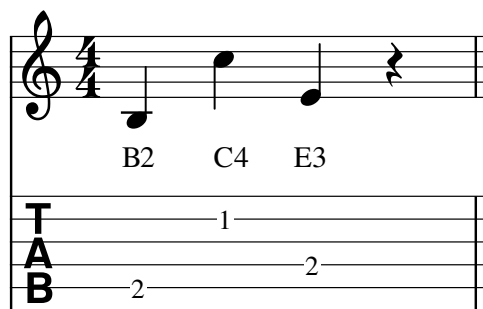
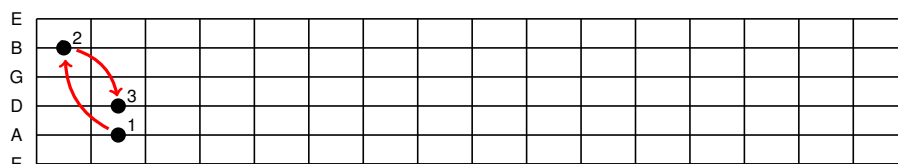


Figura 4: Mapeamento de posições da nota C na oitava 5 no braço do violão.



(a) Possível transcrição.



(b) Posição das notas no braço do violão

Figura 5: Possível transcrição para uma sequência de três notas.

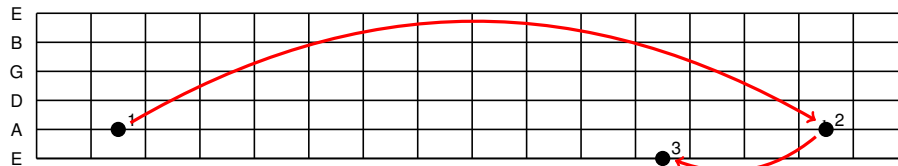
O conjunto de combinações possíveis cresce exponencialmente em relação a quantidade de notas, resultando em uma resolução de grande complexidade para humanos e

até computacionalmente. Na Figura 5 é mostrada uma das tablaturas possíveis a partir da transcrição de uma sequência de 3 notas. É possível também a existência de transcrições que são de uma dificuldade de execução elevada devido à grande distância entre notas adjacentes, como é o caso da Figura 6.

B2 C4 E3

T
A
B
— 2 — 15 — 12 —

(a) Possível transcrição de difícil execução.



(b) Posição das notas no braço do violão

Figura 6: Uma transcrição com duas posições adjacentes muito distantes.

Assumindo que o músico prefere tocar a música do modo que seja necessário um menor esforço, a conversão de partituras em tablaturas pode ser categorizado como um problema de minimização. É um processo cognitivo complexo que envolve tanto conhecimentos musicais para a leitura da partitura quanto conhecimentos das limitações físicas dos instrumentos e das limitações biomecânicas das mãos (RADICIONI; LOMBARDO, 2005). O objetivo desta conversão é então gerar uma tablatura que possibilite ao músico reproduzir a música minimizando a movimentação dos dedos, e consequentemente da mão, ao longo do braço do violão.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

O problema de transcrição automática de partituras em tablaturas foi abordado de diversas maneiras na literatura. A abordagem de maior interesse é aquela feita por otimização, por meio de algoritmos A* (BURLET; FUJINAGA, 2013), programação dinâmica (SAYEGH, 1989; RADISAVLJEVIC; DRIESSEN, 2004; YAZAWA et al., 2014) e computação evolutiva (TUOHY; POTTER, 2005, 2006; RUTHERFORD, 2009). Serão analisados brevemente aqui os trabalhos feitos com base em algoritmos de otimização e suas contribuições, limitações e vantagens quando comparados ao sistema proposto.

Os algoritmos de busca por menor caminho em grafos, como os de programação dinâmica (SAYEGH, 1989; RADISAVLJEVIC; DRIESSEN, 2004; YAZAWA et al., 2014) e A* (BURLET; FUJINAGA, 2013), apresentam uma alta precisão na procura pela melhor solução mas o seu tempo de execução aumenta exponencialmente em relação ao espaço de busca. Radicioni e Lombardo (2005) caracteriza este como um problema de satisfação de restrições baseado em restrições derivadas dos trabalhos de (SAYEGH, 1989; HEIJINK; MEULENBROEK, 2002).

Um dos métodos de computação evolutiva, os algoritmos genéticos, foram aplicados com sucesso no problema de transcrição automática (TUOHY; POTTER, 2005; RUTHERFORD, 2009), assim como suas variações no caso da utilização de algoritmos genéticos distribuídos (TUOHY; POTTER, 2006) e sua operação em conjunto com redes neurais para o mapeamento de dedos para as posições da tablatura (TUOHY; POTTER, 2006). O tempo de execução para se encontrar uma solução ótima para o problema é mencionado brevemente apenas em um dos trabalhos onde após 24 horas, para uma música de 50 notas, uma solução aceitável ainda não tinha sido encontrada (RUTHERFORD, 2009). É possível deduzir que, devido a natureza deste tipo de algoritmo, a sua convergência para uma melhor solução será lenta e acredita-se que o algoritmo colônia de formigas apresente um melhor desempenho quando comparado com resultados obtidos através de algoritmos clássicos da literatura como constatado em (MAIER et al., 2003).

Um estudo detalhado sobre estas diferentes abordagens e suas características é encontrado em (RUTHERFORD, 2009). Ainda em (RUTHERFORD, 2009) são destacados alguns pontos frequentemente omitidos na literatura, sendo os pontos abordados neste trabalho discutidos a seguir:

- Considera-se aqui a utilização de formatos existentes e padronizados para a entrada e saída de arquivos de música. O formato MEI (Music Encoding Initiative) (ROLAND, 2002) é utilizado em um sistema (BURLET; FUJINAGA, 2013) mas sua adoção por softwares existentes no mercado é reduzida quando comparada ao formato MusicXML utilizado neste trabalho.
- Todos artigos apresentados nessa seção utilizam a afinação de violão padrão, ou não mencionam a afinação utilizada, para realizar a transcrição; neste trabalho será disponibilizado ao usuário um meio pelo qual possa especificar a afinação desejada.

Neste contexto, alguns destes trabalhos incluem informações referentes a formação de acordes e harmonias mas isto não se encontra no escopo deste trabalho.

Algoritmos do tipo colônia de formigas obtiveram um crescente interesse na área de otimização, sendo aplicados com sucesso na resolução de diversos problemas como: caixeiro viajante (DORIGO; GAMBARDELLA, 1997), otimização de rotas para veículos de transporte (BELL; MCMULLEN, 2004) e de otimização no planejamento de distribuição de água (MAIER et al., 2003). Foram realizados trabalhos que fazem a utilização de algoritmos baseados em colônias de formigas aplicados à problemas de domínio musical que visaram se beneficiar do aspecto social e do aproveitamento de *feedback* das formigas ao encontrar bons caminhos para realizar a composição de músicas (GEIS; MIDDENDORF, 2007; GUÉRET et al., 2004) mas nenhum foi encontrado com o intuito de realizar a transcrição automática de partituras para tablaturas.

5 METODOLOGIA

5.1 TRANSCRIÇÃO

O problema proposto é representado através de um grafo direcional. O arquivo MusicXML é parseado para se extrair a sequência de notas e oitavas, para que possa ser construído um grafo onde cada vértice constitui uma possível posição para uma dada nota, e arestas representam um caminho entre uma posição e as possíveis posições da nota seguinte, como visto na Figura 7. Um vértice, e com isso uma posição, contém duas informações que podem ser relacionadas a um plano bidimensional, a corda e a casa que devem ser tocadas para soar uma dada nota.

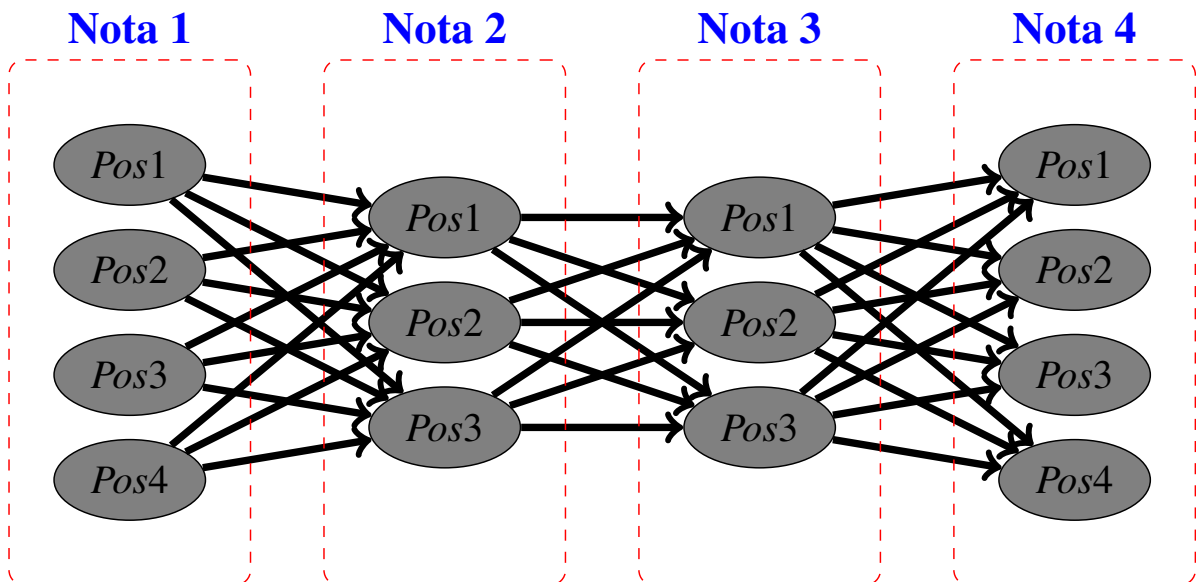


Figura 7: Demonstração de grafo referente à quatro notas.

A distância do caminho entre dois vértices é calculada através da distância euclidiana entre suas referentes posições. É dado o nome de *trail* ao valor que indica a quantidade de feromônio em uma aresta.

Sendo feita a construção desse grafo pode-se chegar a conclusão de que ao posicionar uma formiga em cada uma das posições para a nota inicial da música, as formigas devem

percorrer o grafo até um vértice em que não exista caminho para outros vértices, ou seja, que indique uma posição da nota final da música sendo transcrita. Na Figura 8 pode-se ver a simulação de um caminho feito por uma formiga.

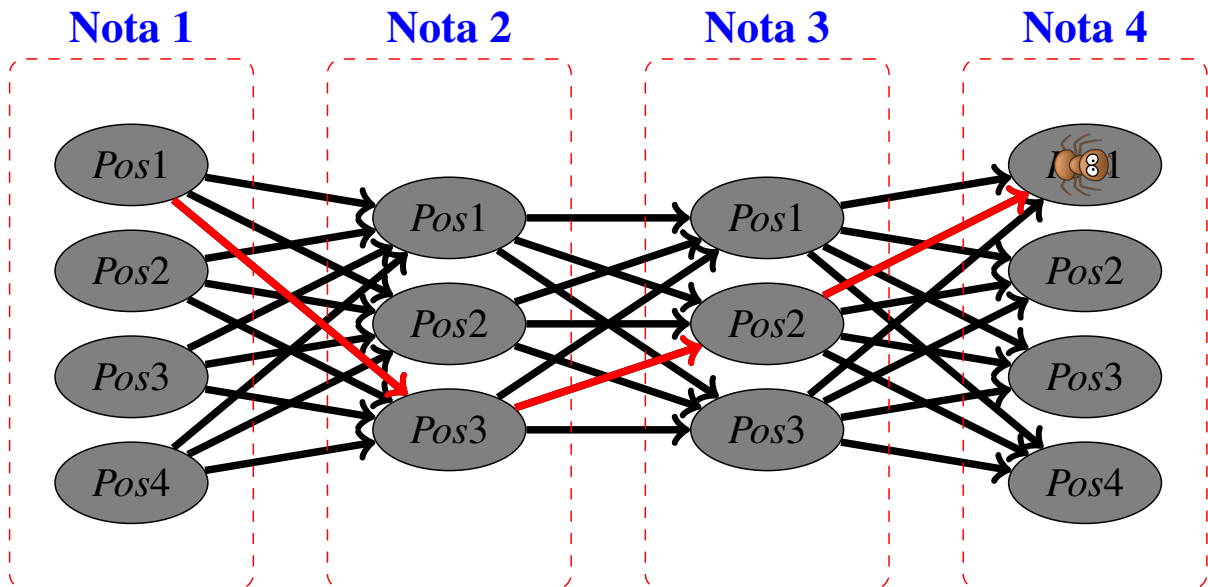


Figura 8: Possível caminho partindo da posição um da primeira nota.

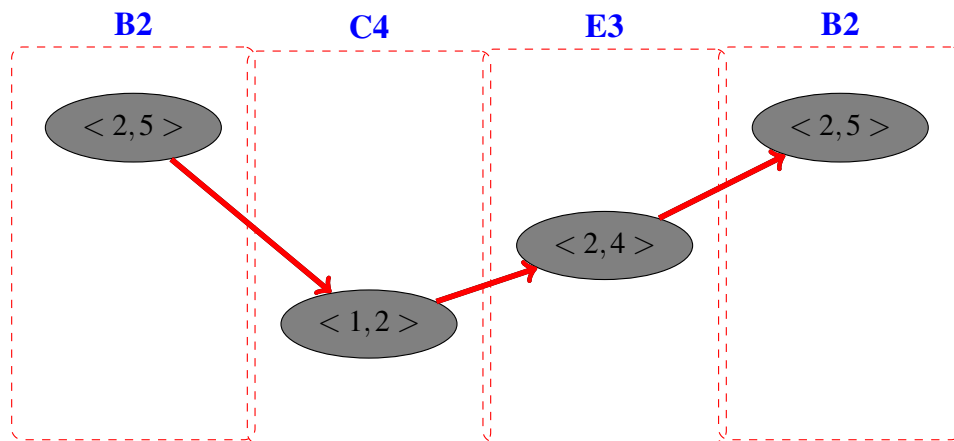
Cada caminho completo de uma formiga é uma possível sequência de posições no braço do violão para se tocar a música sendo transcrita. Um caminho completo de uma formiga, como representado na Figura 9 define então uma solução, dentre todas do espaço de soluções, para o problema apresentado.

5.1.1 OPERADORES

Ao se modelar computacionalmente o funcionamento de uma colônia de formigas deve-se definir um valor, compatível com o problema sendo resolvido, para alguns operadores (DORIGO et al., 2006) apresentados no Quadro 1 que descrevem as diversas variáveis envolvidas nesse fenômeno e seus respectivos valores definidos empiricamente.

Operador	Significado	Valor
α	Importância relativa do feromônio	0.15
β	Importância relativa da informação heurística	1
m	Quantidade de formigas	1 formiga por posição da nota inicial
ρ	Constante de evaporação	0.5
Q	Constante de qualidade do feromônio	200

Quadro 1: Operadores do ACO



(a) Melhor caminho encontrado.

(b) Tablatura referente ao melhor caminho.

Figura 9: Solução final.

5.1.2 EXECUÇÃO

No Algoritmo 1 é demonstrado o pseudocódigo do algoritmo colônia de formigas aplicado ao problema.

O arquivo MusicXML é parseado para se extrair as informações necessárias e em seguida é gerado o grafo. A execução do algoritmo é definido pela repetição do ciclo descrito a seguir. Uma formiga é posicionada em cada possível posição da nota inicial. Cada formiga escolhe, como mostrado na Figura 10, os caminhos a percorrer com a probabilidade calculada pela Equação 1.

$$p_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{I \in N_i^k} (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta} \quad (1)$$

onde:

- k é cada formiga.

Algorithm 1 Colônia de Formigas

```

1: Extração de dados do MusicXML
2: Construção do grafo
3: Inicialização do feromônio
4: do
5:   Posiciona uma formiga em cada nota inicial
6:   for Formiga < m do
7:     while Existe próxima nota do
8:       Cálculo das probabilidades dos caminhos possíveis           ▷ Equação 1
9:       Formiga escolhe um vértice posição com base nas probabilidades
10:    end while
11:  end for
12:  Atualiza o feromônio nas arestas                               ▷ Equações 2 e 3
13:  Armazena melhor solução encontrada
14: while !Condição de parada
15: Melhor solução representa a tablatura resultante
  
```

- ij é a aresta entre os vértices i e j .
- p_{ij}^k é a probabilidade da formiga k escolher um determinado caminho.
- N_i^k são os vértices para onde a formiga k pode caminhar a partir de sua posição atual.
- η_{ij} é o valor heurístico de cada caminho sendo este inversamente proporcional à sua distância.
- τ_{ij} é o *trail* que se encontra em uma devida aresta.

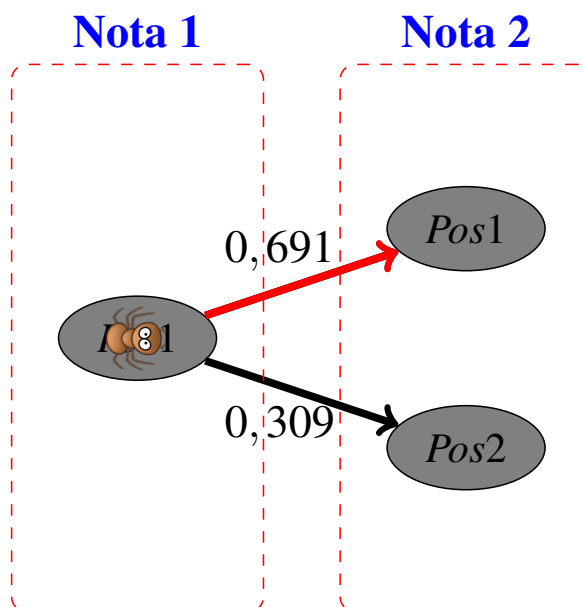


Figura 10: Representação de probabilidades de escolha entre dois caminhos para uma formiga.

É formada uma solução completa por cada formiga quando esta alcança um vértice final, que representa uma das posições possíveis da nota final da música. Assim que todas as formigas encontram uma solução completa é verificado se a condição de parada foi atingida, caso contrário o feromônio é atualizado, sendo essa atualização explicada mais detalhadamente na Seção 5.1.3. O processo se repete até que a condição de parada, no caso o número de iterações desejado, seja alcançado. Ao longo do processo, as formigas tendem a convergir para caminhos mais curtos devido à maior concentração de feromônio nas arestas mais curtas. A melhor solução global é armazenada e atualizada a cada iteração.

5.1.3 ATUALIZAÇÃO DE FEROMÔNIO

O feromônio é inicializado com o valor de 0.1 em cada aresta, pois um valor nulo de inicialização de feromônio iria zerar a probabilidade calculada pela Equação 1. Após todas as formigas chegarem a uma solução o valor de *trail* a ser depositado em cada aresta percorrida por uma formiga é calculado, sendo este dado por

$$\Delta\tau_{ij}^{(k)} = \frac{Q}{L_k} \quad (2)$$

onde L_k é o tamanho da aresta caminhada pela formiga k e Q é a constante de qualidade do feromônio. Para as arestas que não foram percorridas não há adição de *trail*.

Além de adicionar o valor de *trail* depositado por cada formiga, o feromônio deve evaporar, de acordo com o valor da constante ρ , o *trail* já existente em cada aresta, sendo a atualização do *trail* calculado a partir da fórmula

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^{(k)} \quad (3)$$

onde $\Delta\tau_{ij}$ é o *trail* a ser adicionado por cada formiga na aresta entre os vértices i e j . Ao final da atualização dos valores de *trail* no grafo se inicia uma nova iteração.

5.1.4 FUNÇÃO HEURÍSTICA

A função heurística contempla apenas a redução de dificuldade para representar uma dada música se mantendo fiel a partitura, por esse motivo faz-se a mesma concessão feita por Rutherford (2009) e considera-se todas as possíveis posições para uma nota como sendo válidas independentemente de fidelidade sonora em relação as pequenas variações de timbre entre diferentes posições.

Um estudo anterior (HEIJINK; MEULENBROEK, 2002) define três fatores indicadores de complexidade na reprodução de uma música, sendo estes a posição da mão no braço do violão, o alcance necessário dos dedos e o reposicionamento da mão. Ainda em (HEIJINK; MEULENBROEK, 2002) foi descoberto, após experimentos, que contrariamente às expectativas de preferências por posições no meio do braço do violão, eram preferíveis posições perto das primeiras casas pelos guitarristas que participaram dos experimentos.

Outro ponto de interesse não abordado em outros trabalhos (RUTHERFORD, 2009) é a influência das pausas na complexidade. Pausas maiores permitem um maior espaço de tempo para realizar a movimentação da mão e dos dedos quando comparado à pausas mais curtas.

A função heurística deve, portanto, fazer uso destas variadas informações para resultar em um caminho que resulte em uma solução com baixa complexidade frente a estes fatores.

Para este trabalho foi decidido por utilizar o cálculo da distância euclidiana, apresentado na Equação 4

$$d(x,y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4)$$

onde:

- x_1 representa a posição da corda atual
- x_2 representa a posição da próxima corda
- y_1 representa a posição da casa atual
- y_2 representa a posição da próxima casa
- caso y_1 ou y_2 seja correspondente à casa 0 (corda solta) é considerado apenas a movimentação entre cordas

O cálculo é realizado considerando a distância entre as notas adjacentes, tendo como meta sua subsequente minimização de modo que o fitness utilizado é a somatória de todas as distâncias entre as posições das notas adjacentes de uma devida solução. A escolha pela simplificação da função heurística permite limitar o foco do trabalho ao comportamento do algoritmo de transcrição e a criação do sistema web. Estas considerações são deixadas como contribuições para a melhoria da função heurística em trabalhos futuros.

5.2 SISTEMA WEB

Com o objetivo de disponibilizar o uso da ferramenta desenvolvida nesta pesquisa para o público é criado um sistema web. Este sistema é dividido em duas partes, um back-end disponibilizando os recursos através de REST APIs e um front-end que permite a utilização destes recursos pelo cliente.

A escolha de um sistema baseado em REST APIs se dá pelo fato desta permitir manter a lógica de cliente e servidor separados, sendo assim possível modificar qualquer componente sem afetar o outro. Além disso, estruturando o sistema desta forma é possível que este seja um serviço aberto, para o qual poderão ser desenvolvidos clientes em trabalhos futuros para diversas plataformas, todos utilizando o mesmo back-end.

6 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

O sistema é desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java, conhecida por ser estável, robusta (ORACLE, 1997) e possuir uma elevada maturidade, todas estas características essenciais para um sistema web. Além dos aspectos citados deve-se ressaltar a familiaridade prévia do autor com esta linguagem como um fator de influência na decisão por esta tecnologia. A ferramenta de build Gradle (GRADLE INC, 2008) é utilizada para simplificar o gerenciamento de depêndencias, a realização de testes e o processo de *build* da aplicação.

Foi realizada uma pesquisa entre os servidores de aplicação Jetty, Tomcat e Jboss para avaliar seus pontos positivos e negativos, juntamente com os seus alinhamentos com os requisitos do sistema proposto. Foi decidido pelo uso do servidor Jetty devido a existência do plugin Gretty¹, que auxilia a execução do servidor e elimina grande parte das necessidades de configuração manual. O *framework* Jersey foi escolhido por utilizar a implementação padrão, JAX-RS (Java API for RESTful Web Services), da arquitetura REST em Java.

O *framework* AngularJS (GOOGLE, 2010), da linguagem JavaScript, foi escolhido pelo seu recente crescimento e ampla adoção em projetos modernos de Single Page Applications (SPA) como o cliente desenvolvido neste trabalho.

A necessidade de um formato padronizado de notações musicais para ser utilizado como entrada do sistema faz com que o MusicXML se destaque como o candidato favorito, pois foi desenvolvido com a proposta de se tornar a solução para o compartilhamento de música, independente de plataformas ou sistemas operacionais. É um formato amplamente suportado por softwares da área musical. As músicas representadas no formato MusicXML incluem todas as informações necessárias para se poder atingir o objetivo deste trabalho.

Sendo o objetivo deste trabalho realizar a transcrição de músicas e renderizar a tablatura obtida como resultado desta transcrição, é de interesse a utilização de bibliotecas já existentes para realizar esta etapa. Uma biblioteca com esta finalidade é a HTML5

¹<https://github.com/akhikh1/gretty>

MusicXML Viewer², desenvolvida por um aluno da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, disponibilizada sob licenças Creative Commons, permitindo assim o seu uso neste sistema.

6.1 MUSICXML

O formato MusicXML para intercâmbio de músicas foi desenvolvido devido à falta de padronização nos formatos existentes para compartilhamento de músicas em formato digital (GOOD, 2001). Cada ferramenta comercial possuía seu próprio formato e o formato mais comum, o PDF, não era ideal para o propósito. O formato Musical Instrument Digital Interface (MIDI) é muito utilizado mas tem como objetivo a sintetização de música e não a sua representação, não podendo assim representar muitos dos simbolismos encontrados em partituras.

```

1  <note>
2    <pitch>
3      <step>E</step>
4      <alter>-1</alter>
5      <octave>4</octave>
6    </pitch>
7    <duration>24</duration>
8  </note>

```

Quadro 2: Exemplo de trecho de um arquivo MusicXML.

No Quadro 2 é apresentado um trecho de um arquivo MusicXML, disponível no tutorial online presente no site oficial do MusicXML (GOOD, 2011), com os elementos de interesse para o desenvolvimento deste sistema.

Tabela 1: Valores do *alter* para acidentes no MusicXML.

Alter	Acidente
-2	Duplo bemol
-1	Bemol
0	Bequadro
1	Sustenido
2	Duplo sustenido

Cada nota da música é representada por um elemento `<note>`, sendo esta nota descrita por seus elementos internos. O elemento `<step>` define o nome da nota, escrito no sistema alfabético apresentado na Figura 2.

²Disponível em <http://www.musicxml-viewer.com/>

O elemento `<alter>` define o acidente para a nota com os seus valores e respectivos acidentes descritos na Tabela 1, e `<octave>` define a qual oitava esta nota pertence.

Os valores dos elementos descritos acima são os extraídos dos arquivos MusicXML para cada nota de uma música com o intuito de se transcrever esta música.

7 ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema, em sua integridade, desenvolvido neste trabalho pode ser dividido em três módulos: o algoritmo de transcrição, o servidor REST que interage com este algoritmo e o cliente desenvolvido para consumir os recursos disponibilizados pelo servidor.

7.1 ESTRUTURA DO ALGORITMO DE TRANSCRIÇÃO

O núcleo do sistema é o ACO aplicado na resolução do problema de transcrição, o qual possui a estrutura apresentada na Figura 11. Randall e Lewis (2002) evidenciaram como o ACO é um algoritmo que possibilita diversos modos de execução paralela. O algoritmo desenvolvido fez uso da técnica de processamento paralelo durante a execução de cada iteração, sendo que cada formiga é executada em uma *thread* diferente, com a execução do algoritmo sincronizada a cada final de iteração para se realizar a atualização de feromônio nas arestas.

A configuração dos valores dos operadores do ACO mostrados no Quadro 1 é realizada através da implementação de uma classe concreta que tenha um relacionamento de herança com a classe abstrata ACOConfig, facilitando a utilização de diferentes configurações.

```

1  <note>
2    <pitch>
3      <step>E</step>
4      <alter>-1</alter>
5      <octave>4</octave>
6    </pitch>
7    <duration>24</duration>
8    <technical>
9      <fret>4</fret>
10     <string>5</string>
11   </technical>
12 </note>

```

Quadro 3: Exemplo de notação de tablatura de um arquivo MusicXML.

Este módulo é responsável por receber como entrada uma música em formato, com a

afinação e instrumento de escolha, e realizar a sua transcrição, retornando ao final um arquivo MusicXML modificado, como mostrado no Quadro 3 que representa o trecho de código do Quadro 2 modificado após a transcrição.

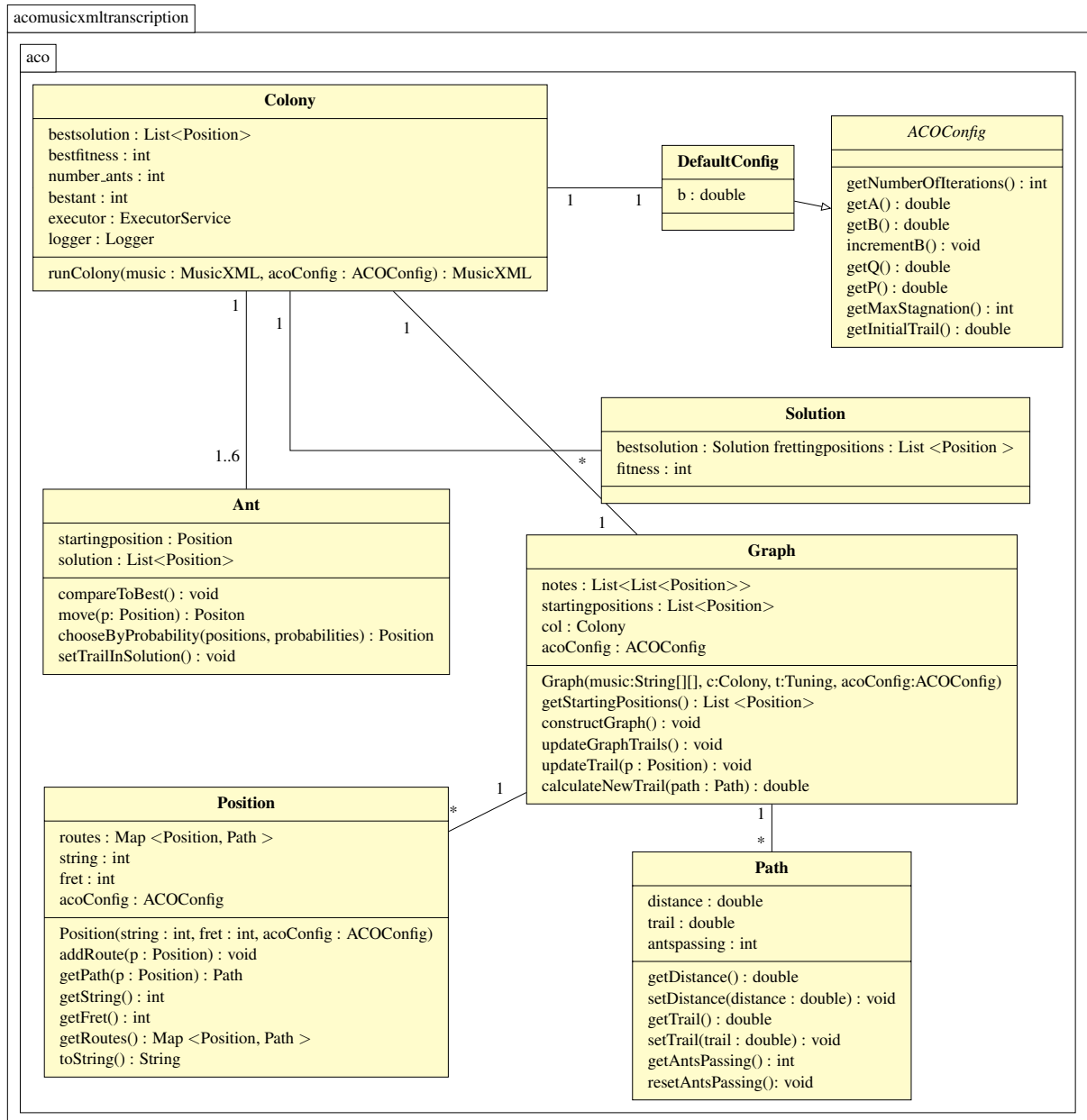


Figura 11: Estrutura do algoritmo de transcrição.

7.2 SERVIÇO RESTFUL

O algoritmo de transcrição é encapsulado no servidor desenvolvido, tendo como ponto único de interação as APIs expostas por meio de recursos do serviço web, como mostrado na Figura 12. O principal recurso exposto é o de transcrição, o qual recebe requisições em formato

JSON contendo o instrumento alvo, a afinação deste instrumento e a partitura original a ser transcrita, como mostrado no Quadro 4.

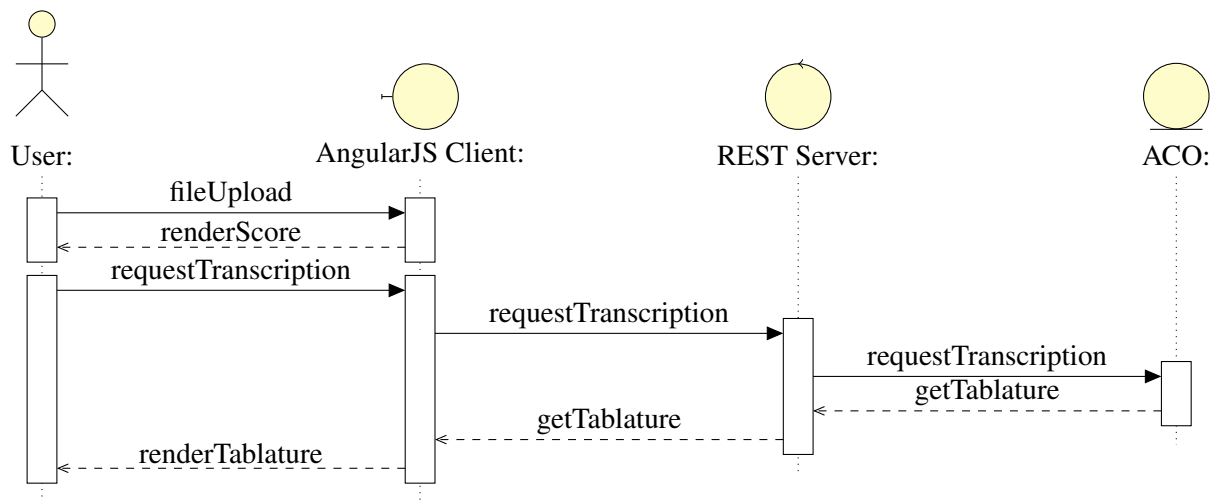


Figura 12: Diagrama de sequência da interação de um usuário.

```

{
  "instrument": "violao",
  "tuning": "EADGBE",
  "musicxml": "<?xml version='1.0' encoding='utf-8' ?>
    <!DOCTYPE score-partwise PUBLIC \"-//Recordare//DTD MusicXML
→ 3.0 Partwise//EN\"
    \"http://www.musicxml.org/dtds/partwise.dtd\">
    <score-partwise>
      <movement-title>Fisherman In The Wardrobe,
→ The</movement-title>
      <identification>
        ...
      </score-partwise>"
}
  
```

Quadro 4: Requisição de transcrição.

7.3 CLIENTE ANGULARJS

O desenvolvimento de um cliente foi realizado de modo a exemplificar a utilização dos recursos disponibilizados. Tem como objetivo realizar o envio de uma música escolhida localmente pelo usuário e a sua renderização, utilizando a biblioteca anteriormente mencionada, no navegador para que se possa ser prontamente visualizada. A aplicação permite o download

do arquivo MusicXML modificado de modo a incentivar o seu objetivo inicial, de livre compartilhamento de registros digitais de notações musicais. Os casos de uso desta aplicação são mostrados na Figura 13.

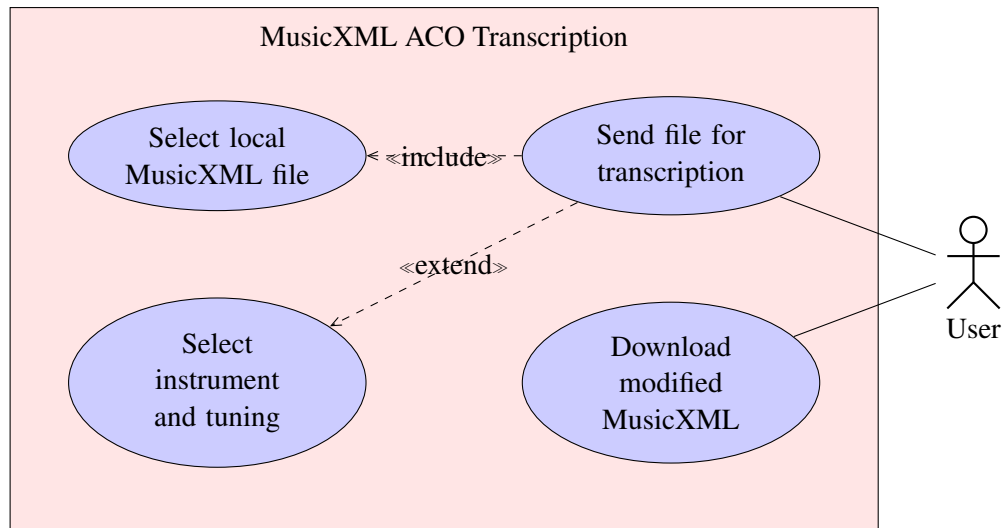


Figura 13: Caso de uso do sistema

Como consequência da atual adoção parcial da tecnologia HTML5 utilizada pela biblioteca aplicada para a renderização do arquivo no navegador, apenas os navegadores mais modernos que suportam o padrão HTML5 podem fazer uso desta aplicação.

8 EXPERIMENTOS

Com o intuito de analisar a eficácia do sistema desenvolvido foi feita uma seleção de ferramentas a partir daquelas encontradas na lista de *softwares*¹, do site oficial do MusicXML, que tanto importam quanto exportam arquivos MusicXML. A Tabela 2 apresenta as ferramentas analisadas que poderiam apresentar a funcionalidade de geração automática de tablaturas a partir de partituras.

Foram apenas consideradas as ferramentas gratuitas ou que permitem a realização da transcrição utilizando uma versão demo, pois as ferramentas pagas em geral possuem um custo relativamente alto para músicos iniciantes ou casuais, os quais seriam os maiores beneficiados por este sistema; a ferramenta Guitar Pro (AROBAS MUSIC, 1997), que detém grande popularidade entre músicos, não foi selecionada pois sua versão demo bloqueia a importação e exportação de arquivos MusicXML.

Tabela 2: Ferramentas existentes.

Programas	Plataforma	Selecionado	Fonte
Finale NotePad	Windows, Mac	✓	(MAKEMUSIC, 2012)
Free Clef	Windows, Linux		(D'ACCORD, 2013)
Lime	Windows, Mac		(CERL SOUND GROUP, 2000)
MusEdit	Windows		(ROGERS, 1998)
MuseScore	Windows, Mac, Linux	✓	(MUSESCORE BVBM, 2008)
Noteflight	Web	✓	(NOTEFLIGHT LLC, 2007)
Tabazar II	Windows		(TABAZAR, 2012)
TablEdit	Windows, Mac, Android, iOS		(LESCHEMELLE, 1997)

As ferramentas Free Clef, Lime e TaBazar não são capazes de gerar as tablaturas automaticamente e por esse motivo foram descartadas. Por fim a ferramenta MusEdit não foi utilizada, apesar de ser alvo de boas críticas, devido ao descontinuação de seu desenvolvimento, de modo que é necessário ingressar em uma comunidade de internet apenas para realizar o seu download. Inicialmente selecionado, a ferramenta TablEdit foi excluída durante a realização dos experimentos pois exporta incorretamente o arquivo MusicXML,

¹<http://www.musicxml.com/software/>

ocasionando na perda de notas da música original.

Entre as ferramentas apresentadas na Tabela 2 foram selecionados três softwares (Finale NotePad, MuseScore e Noteflight) para se comparar com o sistema desenvolvido neste trabalho. A ferramenta MuseScore foi utilizada para criar as figuras de partituras e tablaturas que servem como exemplo neste trabalho.

8.1 METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS

Foram utilizados arquivos MusicXML extraídos da base *The Session*² para a realização dos experimentos. Esta base possui partituras contendo entre 25 a 475 notas. Com o intuito de comparar o comportamento das ferramentas em diversos cenários, foram escolhidas manualmente 10 músicas, mostradas na Tabela 3, que abrangessem diversas quantidades de notas. A necessidade de interação manual para se realizar a transcrição dessas partituras utilizando as ferramentas do comparativo inviabilizam a realização de experimentos com uma quantidade maior de músicas.

Tabela 3: Músicas selecionadas para os experimentos.

Música	Quantidade de notas	Ritmo
What You Will	45	jig
La Duenna	59	reel
Mediator, The	98	jig
Michael Gaffney's	151	barndance
Hanley's House Of Happiness	202	waltz
Gan Airm (10)	248	reel
A Visit To Ireland	304	jig
Jewel Of A Hundred Years	338	strathspey
Fourth Floor, The	394	reel
Bridge Attack	475	reel

A avaliação de fitness desenvolvida neste trabalho foi utilizada para avaliar as soluções obtidas por cada ferramenta. Para o sistema desenvolvido foi definido o limite de 20 mil iterações juntamente com um mecanismo para evitar a continuação do algoritmo caso ocorra estagnação da melhor solução encontrada até o momento, sendo o valor de β modificado dinamicamente ao se detectar uma estagnação, com o intuito de incentivar as formigas a formar novas soluções; caso a estagnação continue é finalizado o algoritmo.

²<https://thesession.org/>

8.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os experimento foram realizados 10 vezes por música para o sistema desenvolvido neste trabalho devido ao seu comportamento estocástico, sendo obtida uma média e o desvio padrão a partir dos resultados obtidos. Os resultados dos experimentos são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Valor de fitness da transcrição resultante.

Quantidade de Notas	ACO		Finale NotePad	MuseScore	Noteflight
	Média	Desvio Padrão			
45	69.239	± 0.405	84	84	84
59	77.203	± 1.021	114.556	114.556	114.556
98	154.585	± 1.03	277.828	277.828	277.828
151	257.862	± 1.823	382	382	382
202	286.403	± 3.345	362.762	362.762	362.762
248	284.858	± 3.313	372.339	372.339	372.339
304	446.075	± 4.181	665	665	665
338	558.739	± 1.2	928	928	928
394	476.508	± 1.917	1082	1082	1082
475	516.557	± 2.053	561.812	X	561.812

A ferramenta MuseScore foi incapaz de importar a música com a maior quantidade de notas (*Bridge Attack* - 475 notas), e por esse motivo na Tabela 4 o resultado não é apresentado.

Provavelmente possuindo algoritmos com lógicas iguais, as três ferramentas, Finale, Noteflight e MuseScore obtiveram resultados idênticos para todas as músicas, exceto a música que não foi importada pelo MuseScore.

Analisando-se a Tabela 4, nota-se uma vantagem significativa do ACO em relação a todas as ferramentas do comparativo, visto que ele obteve um fitness melhor em todas as situações tendo em mente que como se trata de um problema de minimização quanto menor o fitness, melhor é a solução. Para uma visualização comparativa foi gerado um gráfico, apresentado na Figura 14, que mostra a taxa de crescimento do fitness das tablaturas resultantes em relação ao aumento na quantidade de notas.

Para demonstrar o impacto do fitness na facilidade de se tocar uma determinada tablatura foi plotado um histograma, utilizando a música com 394 notas (*Fourth Floor, The*), mostrando a frequência de ocorrência de determinadas distâncias entre notas adjacentes. Este histograma é apresentado na Figura 15.

As três ferramentas utilizadas na comparação obtiveram resultados iguais, pois geram tablaturas iguais. O ACO foi capaz de gerar uma tablatura onde a distância entre todas as

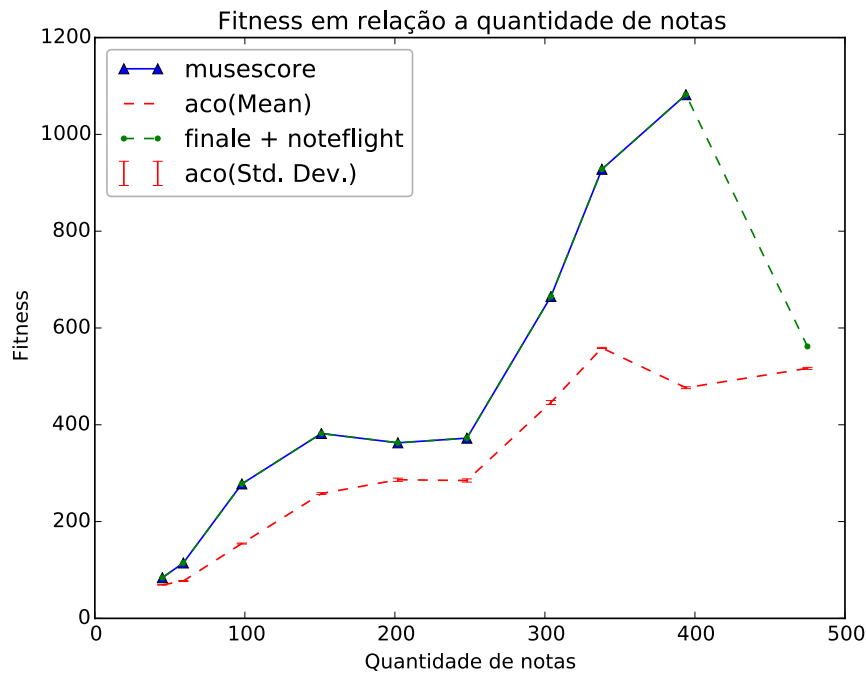


Figura 14: Gráfico do fitness em relação a quantidade de notas das músicas.

notas adjacentes, levando em consideração o cálculo de distância apresentado na Seção 5.1.4, é minimizada evitando grandes distâncias entre notas tocadas em sequência.

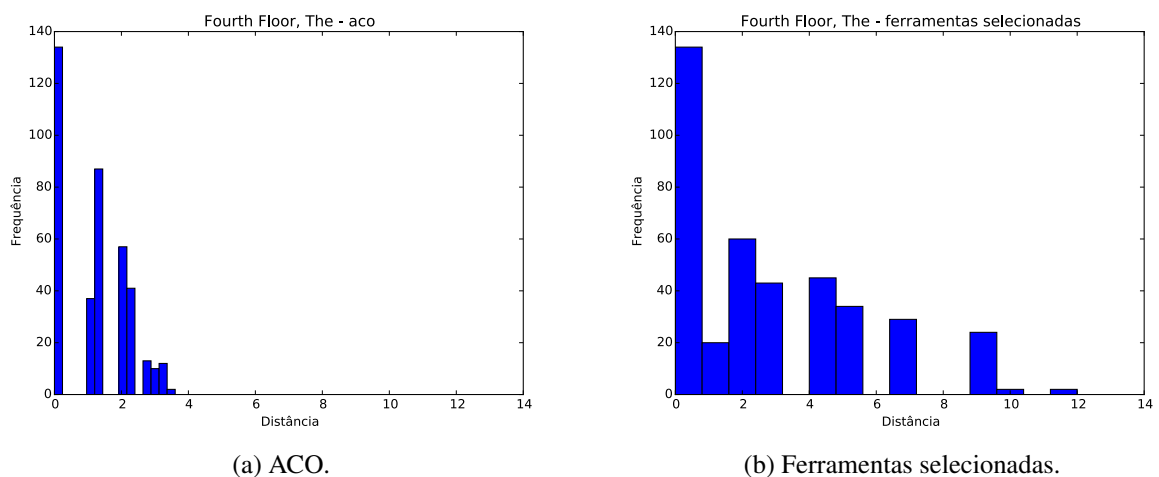


Figura 15: Histograma com a frequência de distância de deslocamentos (394 notas).

Uma grande distância entre notas adjacentes resulta em uma tablatura de difícil execução como mostrado na Figura 6, que possui uma distância de peso 13 entre a primeira e a segunda nota. Pode-se ver então, por meio da análise da Figura 15 que a tablatura resultante da transcrição utilizando o ACO não possui nenhuma distância acima de 4, como é o caso das outras tablaturas. A frequência relativamente alta de ocorrência de distâncias maiores do que

8 nas tablaturas gerados pelo Finale, MuseScore e Noteflight, tem como consequência uma alta complexidade para os músicos usuários destas ferramentas. Esta situação ocorre mesmo ao se transcrever músicas mais curtas, como no caso da música *The Mediator* de 98 notas demonstrado na Figura 16.

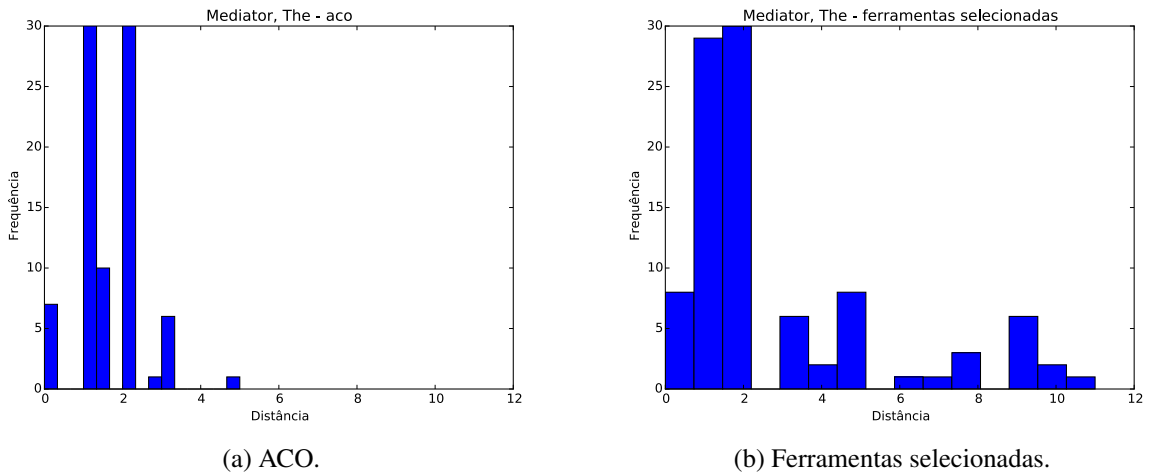


Figura 16: Histograma com a frequência de distância de deslocamentos (98 notas).

What you will
jig

The image shows the musical notation for 'What you will jig'. It is in G major (one sharp) and 6/8 time. The first system consists of a treble clef staff with a key signature of one sharp and a 6/8 time signature. The melody is written in a single line. Below the staff is a guitar tablature (TAB) with fret numbers: 3-5-7-5-3, 7-12-10-12-10-7, 15-14-12-10-7-5, 3-0, 3-0-2, and 3-2-3-5-3-5. A capo is indicated at the 6th fret. The second system is similar, with a treble clef staff and a TAB staff with fret numbers: 7-12-14-15-14-12, 10-7-5-3-2-0, 0-0-3-0-2, and a final double bar line.

Figura 17: Ferramentas existentes, música de 45 notas.

A tablatura resultante do processo de transcrição pelas três ferramentas estudadas é apresentada na Figura 17 e a transcrita pelo sistema desenvolvida é apresentada na Figura 18. É possível visualizar a tendência das ferramentas existentes de se transcrever todas as notas em uma mesma corda, uma transcrição menos natural quando comparada a transcrição gerada pelo ACO, que faz bom uso da maior proximidade de notas em outras cordas com uma menor distância entre as casas e da possibilidade de se tocar uma corda sem pressionar nenhuma casa.

As tablaturas resultantes dos experimentos, tanto das ferramentas existentes quanto da ferramenta desenvolvida neste trabalho, são apresentadas nos apêndices de A a T.

1

What You Will

jig

Figura 18: Ferramenta desenvolvida, música de 45 notas.

9 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi estudado o problema de transcrição automática de partituras em tablaturas. Em função da sua natureza combinatória, foram estudados algoritmos bio-inspirados para lidar com o problema. Foi escolhido o algoritmo colônia de formigas devido ao seu crescente interesse na literatura. Para se desenvolver uma solução para o problema proposto foi necessário modelar o problema computacionalmente, e complementarmente desenvolver uma avaliação heurística que pudesse avaliar cada solução encontrada. A avaliação heurística escolhida foi a de minimização da distância euclidiana de modo a limitar a complexidade e escopo do trabalho que teve como foco avaliar a eficácia do algoritmo colônia de formigas para a resolução do problema, e a criação de um serviço web que pudesse ser publicamente disponibilizado. Os resultados quanto à eficácia do algoritmo quando comparado com os algoritmos encontrados na literatura estão em etapa de publicação e serão devidamente referenciados quando possível.

Para se avaliar o sistema desenvolvido foi realizada uma análise das ferramentas citadas no site oficial do MusicXML que são capazes de tanto importar quanto exportar o formato MusicXML, sendo escolhidas durante esta etapa três ferramentas que possibilitam a transcrição automática de partituras em tablaturas. Utilizando dez músicas contendo entre 25 e 475 notas foram realizados os experimentos. Para se avaliar as soluções obtidas foram utilizadas a função heurística e uma análise da quantidade de ocorrências de distâncias de deslocamentos entre notas adjacentes, apresentados por meio de histogramas. O algoritmo aplicado ao problema delimitado neste trabalho obteve êxito de acordo com os parâmetros inicialmente estabelecidos, obtendo resultados melhores do que as ferramentas avaliadas e apresentando um tempo de execução que não impacta negativamente na sua utilização como base para um serviço web de transcrição automática de partituras.

O sistema proposto e desenvolvido neste trabalho proporciona uma melhoria na transcrição automática de partituras para tablaturas, um problema que usufruiu de poucos avanços que cruzam a barreira da pesquisa acadêmica para o uso do público geral. A abordagem proposta neste trabalho de se disponibilizar a transcrição automática como um

serviço web visa dar apoio e incentivar novos avanços nesta área, permitindo que trabalhos futuros possam utilizar o sistema como um ponto de partida ou apenas alavancar o conceito de serviços para se criar um ecossistema voltado ao compartilhamento de músicas em suas mais diversas formas de notação. Estão sendo estudadas as diferentes possibilidades para hospedagem e disponibilização deste serviço. A obtenção da patente está sendo estudada para ser posteriormente realizada.

É deixado como sugestão para trabalhos futuros: um estudo mais aprofundado sobre a criação de um *gold standard* no qual possam se basear os algoritmos de transcrição; a consideração da fidelidade sonora ao se transcrever uma música; a utilização de informações complementares não consideradas neste trabalho como pausas, durações das notas, *hammer-ons* e *pull-offs*; e a expansão do algoritmo para realizar a transcrição de músicas que contêm harmonias.

REFERÊNCIAS

- AROBAS MUSIC. **Guitar Pro**. 1997. Disponível em: <<http://www.guitar-pro.com/en/index.php>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- BELL, J. E.; MCMULLEN, P. R. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. **Advanced Engineering Informatics**, Elsevier, v. 18, n. 1, p. 41–48, 2004.
- BLUM, C. Ant colony optimization: Introduction and recent trends. **Physics of Life reviews**, Elsevier, v. 2, n. 4, p. 353–373, 2005.
- BURLET, G.; FUJINAGA, I. Robotaba guitar tablature transcription framework. In: **Proceedings of the 14th International Society for Music Information Retrieval (ISMIR) Conference**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 517–522.
- CERL SOUND GROUP. **Lime Music Notation Software**. 2000. Disponível em: <<http://www.cerlsoundgroup.org/cgi-bin/Lime/Windows.html>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- CHEPPUDIRA, M. M. **VexFlow**: Music engraving in javascript and html5. 2010. Disponível em: <<http://www.vexflow.com/>>. Acesso em: 14 abr. 2015.
- D'ACCORD. **Free Clef**. 2013. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/freeclef/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- DENEUBOURG, J.-L. et al. The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant. **Journal of insect behavior**, Springer, v. 3, n. 2, p. 159–168, 1990.
- DORIGO, M.; BIRATTARI, M.; STUTZLE, T. Ant colony optimization. **IEEE Computational Intelligence Magazine**, IEEE, v. 1, n. 4, p. 28–39, 2006.
- DORIGO, M.; GAMBARDELLA, L. M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 53–66, 1997.
- FIELDING, R. T. **Architectural styles and the design of network-based software architectures**. Tese (Doutorado) — University of California, Irvine, 2000.
- FRENCH, R. M. **Engineering the guitar: theory and practice**. Springer Science & Business Media, 2008.
- GAARE, M. Alternatives to traditional notation. **Music Educators Journal**, Music Educators National Conference, p. 17–23, 1997.
- GEIS, M.; MIDDENDORF, M. An ant colony optimizer for melody creation with baroque harmony. In: **IEEE Congress on Evolutionary Computation**. [S.l.]: IEEE, 2007. p. 461–468.
- GOOD, M. Musicxml: An internet-friendly format for sheet music. In: **XML Conference and Expo**. [S.l.: s.n.], 2001. p. 03–04.

- GOOD, M. **MusicXML Tutorial**. 2011. Disponível em: <<http://www.musicxml.com/tutorial/>>. Acesso em: 19 abr. 2015.
- GOOGLE. **AngularJS**. 2010. Acesso em: 21 out. 2015.
- GRADLE INC. **Gradle**. 2008. Disponível em: <<http://gradle.org/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- GUÉRET, C.; MONMARCHÉ, N.; SLIMANE, M. Ants can play music. In: **Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence**. [S.l.]: Springer, 2004. p. 310–317.
- HEIJINK, H.; MEULENBROEK, R. G. On the complexity of classical guitar playing: functional adaptations to task constraints. **Journal of motor behavior**, Taylor & Francis Group, v. 34, n. 4, p. 339–351, 2002.
- LESCHMELLE, M. **TableEdit**. 1997. Disponível em: <<http://www.tableedit.com/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- LINDEN, R. Algoritmos genéticos (2a edicao). Brasport, 2008.
- MAIER, H. R. et al. Ant colony optimization for design of water distribution systems. **Journal of water resources planning and management**, American Society of Civil Engineers, v. 129, n. 3, p. 200–209, 2003.
- MAKEMUSIC. **Finale NotePad**. 2012. Disponível em: <<http://www.finalemusic.com/products/finale-notepad/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- MED, B. **Teoria da música**. [S.l.]: Musimed, 1996.
- MUESCORE BVBM. **MuseScore**. 2008. Disponível em: <<https://musescore.org/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- NOTEFLIGHT LLC. **Noteflight**. 2007. Disponível em: <<https://www.noteflight.com/>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- ORACLE. **The Java Language Environment**: Design goals of the java TM programming language. 1997. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/intro-141325.html>>. Acesso em: 16 mar. 2015.
- RADICIONI, D. P.; LOMBARDO, V. Computational modeling of chord fingering for string instruments. In: **strings**. [S.l.: s.n.], 2005. v. 40, n. 45, p. 50.
- RADISAVLJEVIC, A.; DRIESSEN, P. Path difference learning for guitar fingering problem. In: **Proceedings of the International Computer Music Conference**. [S.l.: s.n.], 2004. v. 28.
- RANDALL, M.; LEWIS, A. A parallel implementation of ant colony optimization. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, Elsevier, v. 62, n. 9, p. 1421–1432, 2002.
- ROGERS, D. **MusEdit**. 1998. Disponível em: <<https://groups.yahoo.com/neo/groups/musedit/info>>. Acesso em: 21 out. 2015.
- ROLAND, P. The music encoding initiative (mei). In: **Proceedings of the First International Conference on Musical Applications Using XML**. [S.l.: s.n.], 2002. v. 1060, p. 55–59.

RUTHERFORD, N. T. Fingar, a genetic algorithm approach to producing playable guitar tablature with fingering instructions. **Undergraduate project dissertation, Dept. of Computer Sci., Univ. of Sheffield**, v. 15, 2009.

SAYEGH, S. I. Fingering for string instruments with the optimum path paradigm. **Computer Music Journal**, MIT Press, p. 76–84, 1989.

TABAZAR. **TaBazar**. 2012. Disponível em: <<http://www.tabazar.de/tabazar/index.php?lang=1>>. Acesso em: 21 out. 2015.

TUOHY, D.; POTTER, W. A genetic algorithm for the automatic generation of playable guitar tablature. In: SN. **Proceedings of the International Computer Music Conference**. [S.l.], 2005. p. 499–502.

TUOHY, D. R.; POTTER, W. Guitar tablature creation with neural networks and distributed genetic search. In: **Proceedings of the 19th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, IEA-AIE06, Annecy, France**. [S.l.: s.n.], 2006.

VANZELA, A.; VANZELA, A. P. C. A utilização da tablatura como forma de leitura musical <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v12i1.130135>. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 12, n. 1, p. 130–135, 2014.

YAZAWA, K.; ITOYAMA, K.; OKUNO, H. G. Automatic transcription of guitar tablature from audio signals in accordance with player's proficiency. In: IEEE. **Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)**. [S.l.], 2014. p. 3122–3126.

APÊNDICE B – 45 NOTAS: ACO

1

What You Will

jig

The musical score is for a guitar piece in 6/8 time, key of D major (one sharp). It consists of three systems of music, each with a treble clef staff and a guitar-specific staff. The guitar staff includes fret numbers and a 'T' (trill) symbol. The first system starts with a repeat sign and contains three measures. The second system starts with a measure number '4' and contains three measures, including a double bar line with repeat dots. The third system starts with a measure number '7' and contains two measures, ending with a double bar line and repeat dots.

1

APÊNDICE C – 59 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

La Duenna
reel

The first system of music consists of a single staff in treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a 4/4 time signature. The melody is written in a simple, rhythmic style. Below the staff is a guitar tablature (TAB) with six lines. The fret numbers are: 3, 3, 3, 5, 7, 7, 7, 5, 7, 5, 7, 9, 10, 5, 7.

6

The second system of music starts at measure 6. It continues the melody from the first system. It includes a double bar line with repeat dots. The fret numbers for the TAB are: 8, 8, 7, 3, 5, 2, 3, 10, 8, 7, 8, 5, 3, 3, 7, 5, 10, 10, 9.

12

The third system of music starts at measure 12. It continues the melody. The fret numbers for the TAB are: 10, 5, 7, 8, 8, 7, 5, 5, 10, 8, 7, 3, 10, 3, 0, 2, 3, 5, 7, 8, 7, 8, 7, 5.

18

Musical notation for measure 18. The top staff is a treble clef with a sharp sign (#) on the F line. It contains a single quarter note on the G line (G4) followed by a double bar line with repeat dots. The bottom staff is a TAB staff with the letters 'T', 'A', and 'B' stacked vertically on the left. It contains a triplet of three dots on the first line, followed by a double bar line with repeat dots.

APÊNDICE D - 59 NOTAS: ACO

1

La Duenna

reel

The musical score is written for guitar in 4/4 time with a key signature of one sharp (F#). It consists of four systems of music, each with a treble clef staff and a guitar tablature staff below it. The tablature staff is divided into three sections for strings T, A, and B. The piece concludes with a double bar line and repeat dots.

System 1 (Measures 1-5):
T: 3 3 3 5 7 7 7 5 7 5 7 9 10 10 12
A: (empty)
B: (empty)

System 2 (Measures 6-10):
T: 13 13 12 12 10 11 12 15 13 12 13 14 12 12 12
A: (empty)
B: (empty)

System 3 (Measures 11-15):
T: 10 10 10 9 10 10 12 13 13 12 10 10 10 8 7 8 10
A: (empty)
B: (empty)

System 4 (Measures 16-18):
T: 0 2 3 5 7 8 7 8 7 5 3
A: 7
B: (empty)

1

APÊNDICE E – 98 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Mediator, The
jig

2-3-2-2-0-3 2-3-5-10-5 2-3-2-2-0-3 2-3-5-10-9 7-9-7-15-14-15

6

5-7-5-14-12-14 3-5-3-12-10 9-10-7-5-7-3 9-10-7-5 14-15 17-17-19-17

12

17-15-14-15-10-7 15-15-17-15 15-14-12-14-10-5 14-15-14-17-15-14 15-14-15-7-10

17

Musical notation for measure 17. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). It contains six quarter notes: F#4, G4, A4, B4, C5, and D5. The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers 5, 15, 14, 5, 14, and 12.

18

Musical notation for measure 18. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). It contains two phrases separated by a repeat sign. The first phrase has five notes: F#4, G4, A4, B4, and C5. The second phrase has five notes: F#4, G4, A4, B4, and C5. The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers 5, 7, 9, 10, 5, 7, 9, 10, 5, and 3. It also includes a repeat sign.

APÊNDICE F – 98 NOTAS: ACO

1

Mediator, The

jig

1

2

Musical score for guitar, measures 17-19. The score is written for a guitar with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The bass line includes fret numbers: 15, 14, 14, 12, 10, 12, 14, 15, 14, 16, 18, 19, 19, 17. The melody consists of quarter notes and eighth notes. A first ending bracket covers measures 18 and 19, and a second ending bracket covers measure 19.

2

APÊNDICE G – 151 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Michael Gaffney's
barndance

14·12·10·5 — 14·12·10·5·7·9 — 10·9·10·19 — 1417 — 15·14·12·7 — 15·14·12·7 — 9 — 1012·10·9·5 —

5

14·12·10·5 — 14·12·10·5 — 9 — 10·9·10·19 — 1417 — 14 — 15 — 14 — 12·7 — 9 — 12 — 10·7 — 9·10 — 12 —

9

12 — 10·7 — 9 10 — 5·7·9 — 10 — 1412 — 10·7 — 5·2 — 5 — 10·9·10·12 — 10·7 — 10·9·10·12 — 10·7 — 5·2 — 5 —

13

T
A
B

17

T
A
B

APÊNDICE H - 151 NOTAS: ACO

1

Michael Gaffney's

barndance

The musical score is for guitar in 4/4 time, featuring a melody with triplets and a bass line with fingerings. The key signature has two sharps (F# and C#). The score is divided into four systems, each with a treble clef staff and a bass staff (labeled J, A, B). The melody consists of eighth notes, many of which are grouped in triplets. The bass line provides a rhythmic accompaniment with specific fingerings indicated by numbers 1-4.

System 1: Treble clef: 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet). Bass clef: 19, 17, 19, 19, 19, 17, 15, 14, 16, 18, 19, 18, 19, 19, 17.

System 2: Treble clef: 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet). Bass clef: 15, 14, 12, 12, 15, 14, 12, 12, 14, 15, 17, 15, 14, 14.

System 3: Treble clef: 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet). Bass clef: 14, 12, 10, 10, 14, 12, 10, 10, 9, 10, 9, 10, 19, 19, 17, 19.

System 4: Treble clef: 3 eighth notes (triplet), 3 eighth notes (triplet). Bass clef: 20, 19, 17, 16, 14, 12, 10, 12, 14, 15, 17.

1

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of four systems. Each system includes a treble clef staff and a bass clef staff (labeled T, A, B). The music is written in a key with two sharps (F# and C#). The score includes various musical notations such as eighth notes, quarter notes, and trills, with the number '3' indicating a triplet. Fingering numbers (1-4) are placed below the notes. A first ending bracket labeled '1.' spans the final two measures of the fourth system, and a second ending bracket labeled '2.' spans the first two measures of the first system. The bass staff contains specific fingering numbers for each note: System 1 (T: 17, 15, 16, 14, 15, 14, 16, 14; A: 15, 14, 12, 10, 12, 10, 11, 10; B:), System 2 (T: 10, 9, 10, 12, 10, 12; A: 10, 9, 10, 12, 10, 12, 10, 11, 10; B:), System 3 (T: 12, 10, 12, 14, 12, 14, 15; A: 14, 16, 18; B: 19, 17, 15, 16, 14, 16, 17, 19), and System 4 (T: 19, 17, 15, 14, 12, 14; A: 15, 17, 15, 16, 14, 11, 12, 10; B: 12, 9, 10, 10, 12, 14).

2

18 2. 3

3 3 3 3

J 15 17 15 14 12 14

A

B 15 17 15 14 15 14 12 14 12 12 14 15

20

3

J 17 19 17 16 14 15 17

A

B

APÊNDICE I – 202 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Hanley's House Of Happiness
waltz

1

5-7-8 | 10-3-7 | 10-8-8-7 | 5-7-10 | 5-7-7-8 | 7-3-0

TAB

□ | | | | | | |

Detailed description: This block contains the first six measures of the piece. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a 3/4 time signature. The first measure is in 3/4 time, and the second measure is in 3/4 time. The notes are: M1: A4, B4, C5; M2: D5, G4, F#4; M3: E4, D4, C4; M4: B3, A3, G3; M5: F#3, E3, D3; M6: C3, B2, A2. The guitar tablature below shows the fret numbers for each note. The rhythm is indicated by a sequence of square and vertical symbols below the tablature.

7

12-10-7 | 5-3-0 | 3 5-7-8 | 10-3-7 | 10-8-8-7 | 5-7-10 | 5-7-7-8

TAB

| | | | | | |

Detailed description: This block contains measures 7 through 13. The top staff continues the melody from measure 6. The notes are: M7: D4, C4, B3; M8: A3, G3, F#3; M9: E3, D3, C3; M10: B2, A2, G2; M11: F#2, E2, D2; M12: C2, B1, A1; M13: G1, F#1, E1. The guitar tablature shows fret numbers, including a triplet of notes (3 5-7-8) in measure 9. The rhythm is indicated by a sequence of square and vertical symbols below the tablature.

14

7-3-0 | 12-14-15 | 5-7-5-3-0 | 3 0-0-1 | 3 7-3 | 0-7-3 | 0-2-0 | 3 0-3

TAB

| | | | | | |

Detailed description: This block contains measures 14 through 20. The top staff continues the melody. The notes are: M14: D4, C4, B3; M15: A4, G4, F#4; M16: E4, D4, C4; M17: B3, A3, G3; M18: F#3, E3, D3; M19: C3, B2, A2; M20: G2, F#2, E2. The guitar tablature shows fret numbers, including triplets (3 0-0-1 and 3 0-2-0) in measures 17 and 19 respectively. The rhythm is indicated by a sequence of square and vertical symbols below the tablature.

50

Musical notation for measures 50-55. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). The bottom staff is a guitar TAB with six lines. The TAB contains the following fret numbers: 3-12-10, 10-8-7-8-10-12, 10-8-7, 5-3-3-2, 3-15-15-14, 15-7-7-5. Below the TAB are rhythmic flags: | . | v | | | | . | v | . | v | . | v |

56

D.C.

Musical notation for measures 56-61. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). The bottom staff is a guitar TAB with six lines. The TAB contains the following fret numbers: 3-15-14, 12-0-0-2, 3-12-10, 10-8-7, 5-3-0, 3, 3, 5-7-8. Below the TAB are rhythmic flags: | . | v | . | v | | | | | . | . |

APÊNDICE J – 202 NOTAS: ACO

1

Hanley's House Of Happiness

waltz

The musical score is for guitar in 3/4 time, key of D major (one sharp). It consists of five systems of music, each with a treble clef staff and a guitar-specific staff with strings J, A, and B. The guitar staff contains fret numbers for each string. The piece is marked as a waltz. The score includes a repeat sign at the beginning of the first system. The first system covers measures 1-4, the second system measures 5-8, the third system measures 9-12, the fourth system measures 13-16, and the fifth system measures 17-20. Measure numbers 1, 5, 10, 15, and 20 are indicated at the start of their respective systems. The guitar staff for the first system shows fret numbers: 5, 7, 8 on the J string; 10, 8, 7, 10 on the A string; and 13, 13, 12, 14, 16, 15 on the B string. The second system shows: 14, 12, 12, 13, 12, 12, 0, 17, 15, 16, 14, 12, 3, 5, 7, 8. The third system shows: 10, 8, 7, 10, 13, 13, 12, 10, 12, 10, 10, 12, 12, 13, 12, 12, 0. The fourth system shows: 12, 14, 15, 14, 12, 10, 8, 9, 7, 0, 0, 1, 3, 7, 8, 0, 7, 8. The fifth system shows: 0, 2, 0, 3, 0, 3, 3, 0, 0, 1, 3, 3, 7, 8, 12, 10. A small '1' is written at the bottom right of the page.

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems of music. Each system includes a treble clef staff with a key signature of one sharp (F#) and a bass staff with guitar-specific notation (T, A, B strings) and fret numbers. The systems are numbered 24, 29, 34, 40, and 46. The score includes various musical notations such as notes, rests, and articulation marks. A 'fine' marking is present at the end of the second system. First and second endings are indicated by '1.' and '2.' above the staff lines. A triplet of eighth notes is marked with a '3' above it in the third system. The guitar notation includes fret numbers ranging from 0 to 16.

2

3

Musical score for guitar, measures 50-58. The score is written for a guitar with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The guitar part is written on a six-line staff with fret numbers indicated below the notes. The score is divided into three systems of four measures each.

Measure 50: Treble clef, F# key signature. Notes: G4 (fret 3), A4 (fret 12), B4 (fret 15), A4 (fret 15), G4 (fret 13), F#4 (fret 12), E4 (fret 13), D4 (fret 15), C4 (fret 17), B3 (fret 19), A3 (fret 17), G3 (fret 16), F#3 (fret 14), E3 (fret 12), D3 (fret 12), C3 (fret 11).

Measure 54: Treble clef, F# key signature. Notes: G4 (fret 15), A4 (fret 15), B4 (fret 14), A4 (fret 15), G4 (fret 15), F#4 (fret 14), E4 (fret 12), D4 (fret 0), C4 (fret 0), B3 (fret 2).

Measure 58: Treble clef, F# key signature. Notes: G4 (fret 3), A4 (fret 12), B4 (fret 10), A4 (fret 10), G4 (fret 8), F#4 (fret 7), E4 (fret 5), D4 (fret 3), C4 (fret 0), B3 (fret 3), A3 (fret 3), G3 (fret 5), F#3 (fret 7), E3 (fret 8).

The score includes a *d.c.* (da Capo) instruction above the final measure (58).

3

APÊNDICE K - 248 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Gan Ainm (10)
reel

3 3-0-3-2-0-2 3 3-0-3-2-0-2 3 2-5-3-3-2 3 3-0-3-2-0-2

5

3 2-5-3-3-2 3 3-0-3-2-0-3 0 0-3-0-2 3 0 0-2 0 0-3-0-2

10

3 0 0-2 3 3 3-0-3-2-0-2 3 3-0-3-2-0-2 3 2-5-3-3-2

15

Musical notation for measures 15-19. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers. The notation is as follows:

3	3-0-3-2-0	2	3	2-5-3-3-2	3	3-0-3-2-0-3	0	0-3-0-2	3	0	0	2	2
---	-----------	---	---	-----------	---	-------------	---	---------	---	---	---	---	---

20

Musical notation for measures 20-24. The top staff is a treble clef with a key signature of one sharp (F#). The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers. The notation is as follows:

0	0-3-0-2	3	0	0	2	2	3	2	3	3	10	10-7-10-9-7-5	10	10-7-10-9-7-5
---	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---------------	----	---------------

25

T
A
B

30

T
A
B

35

T
A
B

40

T
A
B

APÊNDICE L – 248 NOTAS: ACO

Gan Ainm (10)

1

reel

The musical score is written for guitar and bass in 4/4 time, one sharp (F#). It consists of five systems of music, each with a treble clef staff and a guitar/bass system. The guitar/bass system includes a treble clef, a bass clef, and a tablature line with numbers 0, 2, 3, 5. The music is a reel, characterized by its rhythmic pattern and melodic lines.

System 1 (Measures 1-2):
 Treble: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4.
 Bass: 3, 3, 0, 3, 2, 0, 2.

System 2 (Measures 3-5):
 Treble: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4, C4, B3, A3, G3.
 Bass: 3, 2, 5, 3, 3, 2, 3, 3, 0, 3, 2, 0, 2, 3, 2, 5, 3, 3, 2.

System 3 (Measures 6-8):
 Treble: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4, C4, B3, A3, G3.
 Bass: 3, 3, 0, 3, 2, 0, 3, 0, 0, 3, 0, 2, 3, 0, 0, 2, 2.

System 4 (Measures 9-11):
 Treble: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4, C4, B3, A3, G3.
 Bass: 0, 0, 3, 0, 2, 3, 0, 0, 2, 2, 3, 3, 3, 0, 3, 2, 0, 2.

System 5 (Measures 12-14):
 Treble: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4, C4, B3, A3, G3.
 Bass: 3, 3, 0, 3, 2, 0, 2, 3, 2, 5, 3, 3, 2, 3, 3, 0, 3, 2, 0, 2.

1

2

16

Musical notation for measures 16-18. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature (C). The right hand plays a melody of eighth notes with slurs. The left hand plays a bass line with triplets and other rhythmic patterns. Fingerings are indicated by numbers 1-5.

Treble clef, key signature of one sharp (F#), common time signature (C).
Right hand: 3 2 5 3 3 2 | 3 3 0 3 2 0 3 | 0 0 3 0 2

19

Musical notation for measures 19-22. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature (C). The right hand plays a melody of eighth notes with slurs. The left hand plays a bass line with triplets and other rhythmic patterns. Fingerings are indicated by numbers 1-5.

Treble clef, key signature of one sharp (F#), common time signature (C).
Right hand: 3 0 0 2 2 | 0 0 3 0 2 | 3 0 0 2 2 | 3 2 3 2 3

23

Musical notation for measures 23-25. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature (C). The right hand plays a melody of eighth notes with slurs. The left hand plays a bass line with triplets and other rhythmic patterns. Fingerings are indicated by numbers 1-5.

Treble clef, key signature of one sharp (F#), common time signature (C).
Right hand: 15 15 16 15 14 12 14 | 15 15 16 15 14 12 14 | 15 14 17 15 15 14

26

Musical notation for measures 26-28. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature (C). The right hand plays a melody of eighth notes with slurs. The left hand plays a bass line with triplets and other rhythmic patterns. Fingerings are indicated by numbers 1-5.

Treble clef, key signature of one sharp (F#), common time signature (C).
Right hand: 15 15 16 15 14 16 14 | 15 14 17 15 15 14 | 15 15 16 15 14 16 14

29

Musical notation for measures 29-31. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature (C). The right hand plays a melody of eighth notes with slurs. The left hand plays a bass line with triplets and other rhythmic patterns. Fingerings are indicated by numbers 1-5.

Treble clef, key signature of one sharp (F#), common time signature (C).
Right hand: 19 19 17 | 15 15 16 15 14 12 14 | 19 19 17

2

3

32

T
A
B

35

T
A
B

38

T
A
B

41

T
A
B

3

13

T
A
B

15-14-15-17-15-17 | 19-17-15-14-12-10 | 15-14-12-10-8-7 | 8-5-5-5-10 | 15-14-15-17-15-17

18

T
A
B

19 | 17 | 15 | 14 | 12 | 10

19

1 2 As Played on Fiddle

T
A
B

15-14-15-5-7-8 | 7-3-3-3-7-10 | 7-3-3-3-7-8 | 12-10-7-3 As Played on Fiddle

24

T
A
B

7 | 8 | 10 | 10 | 12 | 14

25

T
A
B

30

T
A
B

31

T
A
B

37

T
A
B

As Played on :

42

T
A
B

43

T
A
B

48

T
A
B

49

T
A
B

54

T
A
B

55

T
A
B

APÊNDICE N – 304 NOTAS: ACO

1

A Visit To Ireland

jig

The musical score is for a jig in G major (one sharp) and 6/8 time. It is presented in four systems, each with a treble clef staff and a guitar staff. The guitar staff includes fret numbers and a 'V' (vibrato) marking.

System 1 (Measures 1-5):
 Treble clef: G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), A4-G4 (beamed eighth notes), F#4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter), C4 (quarter).
 Guitar staff: 16 (F#4), 15 15 15 (A4), 17 17 17 (B4), 16 16 16 (A4), 15 15 15 (G4), 15 17 17 (F#4).

System 2 (Measures 6-9):
 Treble clef: D4 (quarter), E4 (quarter), F#4 (quarter), G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), A4-G4 (beamed eighth notes), F#4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter).
 Guitar staff: 17 19 (D4), 17 19 (E4), 17 (F#4), 19 17 15 15 (G4), 16 17 (A4), 16 15 15 15 17 19 (B4).

System 3 (Measures 10-12):
 Treble clef: C4 (quarter), D4 (quarter), E4 (quarter), F#4 (quarter), G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), A4-G4 (beamed eighth notes), F#4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter).
 Guitar staff: 20 19 20 (C4), 19 16 17 (D4), 16 17 17 17 16 17 (E4), 16 17 17 17 16 15 (F#4).

System 4 (Measures 13-15):
 Treble clef: C4 (quarter), D4 (quarter), E4 (quarter), F#4 (quarter), G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), A4-G4 (beamed eighth notes), F#4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter).
 Guitar staff: 15 14 15 17 15 17 (C4), 19 17 15 14 17 19 (D4), 20 19 17 15 13 12 (E4).

1

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems. Each system contains a treble clef staff and a bass clef staff. The key signature is one sharp (F#). The score includes various musical notations such as notes, rests, and slurs. The bass staff contains numerical fretting instructions for the left hand, with letters T, A, and B indicating specific techniques or fingerings. The first system starts at measure 16. The second system includes first and second endings, with the second ending marked 'As Pl.'. The third system starts at measure 23. The fourth system starts at measure 26. The fifth system starts at measure 29 and also includes first and second endings.

2

32

Treble clef, key signature of one sharp (F#). The right hand plays a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. The left hand plays a sequence of notes: E3, G2, A2, B2, C3, B2, A2, G2. Fingering numbers are provided for both hands.

35

Treble clef, key signature of one sharp (F#). The right hand plays a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. The left hand plays a sequence of notes: E3, G2, A2, B2, C3, B2, A2, G2. Fingering numbers are provided for both hands.

38

1. 2. *As Pl.*

Treble clef, key signature of one sharp (F#). The right hand plays a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. The left hand plays a sequence of notes: E3, G2, A2, B2, C3, B2, A2, G2. Fingering numbers are provided for both hands. A first ending bracket covers measures 39-40, and a second ending bracket covers measure 41. The text "As Pl." is written at the end of the system.

42

Treble clef, key signature of one sharp (F#). The right hand plays a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. The left hand plays a sequence of notes: E3, G2, A2, B2, C3, B2, A2, G2. Fingering numbers are provided for both hands.

45

Treble clef, key signature of one sharp (F#). The right hand plays a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. The left hand plays a sequence of notes: E3, G2, A2, B2, C3, B2, A2, G2. Fingering numbers are provided for both hands.

4

The image displays a musical score for guitar, consisting of four systems of music. Each system includes a treble clef staff and a bass clef staff. The key signature is one sharp (F#). The score includes first and second endings, indicated by bracketed lines above the treble staff and repeat signs. Fingering numbers are provided for various notes in the bass staff.

System 1 (Measures 48-50):
Treble staff: Measure 48 (F#4, G4, A4), Measure 49 (B4, C5, D5), Measure 50 (E5, D5, C5).
Bass staff: Measure 48 (20, 19), Measure 49 (16, 17), Measure 50 (16, 17, 19, 16, 17).
First ending: Measure 50 (16, 17, 16, 17).
Second ending: Measure 50 (16, 17, 16, 17, 16, 15).

System 2 (Measures 51-54):
Treble staff: Measure 51 (F#4, G4, A4), Measure 52 (B4, C5, D5), Measure 53 (E5, D5, C5), Measure 54 (B4, A4, G4).
Bass staff: Measure 51 (15, 17), Measure 52 (19, 17, 15, 14, 12, 10), Measure 53 (15, 14, 17, 15, 13, 12), Measure 54 (13, 14, 14).

System 3 (Measures 55-58):
Treble staff: Measure 55 (F#4, G4, A4), Measure 56 (B4, C5, D5), Measure 57 (E5, D5, C5), Measure 58 (B4, A4, G4).
Bass staff: Measure 55 (15, 17), Measure 56 (19, 17, 20, 19, 17, 19), Measure 57 (20, 19, 16, 17), Measure 58 (16, 17, 16, 17, 16, 15).
First ending: Measure 58 (16, 17, 16, 17, 16, 15).

System 4 (Measures 59-60):
Treble staff: Measure 59 (B4, C5, D5), Measure 60 (E5, D5, C5).
Bass staff: Measure 59 (16, 17, 17, 17, 19), Measure 60 (12, 13).

4

APÊNDICE O – 338 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Jewel Of A Hundred Years
strathspey

1

4

8

12

T
A
B

14-1015-10-7-10-7 | 5-5-5-7-10-1214-17 | 15-7-7-14-15 | 17-1415-1214-1715-12

16

T
A
B

14-10-15-10-7-5-7-10-10-10-14-12-10-12-17 | 14-10-10-14-15

19

T
A
B

17-1415-1214-1715-12 | 14-1015-10-7-10-7-5-5-5-7-10-1214-17 | 15-7-7-10-7

23

T
A
B

5-5-5-7-3-7-10-7 | 5-12-10-5-7-5-7-10-10-10-14-12-10-12-17

26

Musical notation for measures 26-29. The staff shows a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 3/4 time signature. The melody consists of quarter and eighth notes. Below the staff is a guitar TAB with fret numbers: 14-10-10, 10-7, 5-5-5-7-3-3-3-7, and 5-5-5-14-12-10-12-14. A double bar line is placed after the first measure. Below the TAB are rhythmic stems with dots representing the notes.

30

Musical notation for measures 30-32. The staff shows a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 3/4 time signature. The melody continues with quarter and eighth notes. Below the staff is a guitar TAB with fret numbers: 5-5-5-7-10-12-14, 15-12-14-10-7-10-7, and 5-5-5-7-3-3-3-7. Below the TAB are rhythmic stems with dots representing the notes.

33

Musical notation for measures 33-36. The staff shows a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 3/4 time signature. The melody includes quarter and eighth notes, with a double bar line and repeat sign at the end of measure 35. Below the staff is a guitar TAB with fret numbers: 5-17-14-10-7-5-7, 10-10-10-14-12-10-12-17, 14-7-7, and 14-15. Below the TAB are rhythmic stems with dots representing the notes.

37

Musical notation for measures 37-40. The staff shows a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The melody consists of quarter and eighth notes. Below the staff is a guitar TAB with fret numbers: 17-5-5-17-14-17-15-12, 14-10-15-10-7-10-7, 5-5-5-7-10-12-14-17. Below the TAB are rhythmic stems with dots representing the notes.

40

T
A
B

43

T
A
B

46

T
A
B

50

T
A
B

APÊNDICE P – 338 NOTAS: ACO

1

Jewel Of A Hundred Years

strathspey

The musical score is presented in five systems, each consisting of a treble clef staff and a bass clef staff. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 4/4. The notation includes notes, rests, and bar lines. Fingerings are indicated by numbers 1-5 on the treble staff and 1-5 on the bass staff. The score begins with a repeat sign and ends with a double bar line and repeat dots.

System 1: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Bass staff starts with a quarter note G2, followed by quarter notes F2, E2, D2, C2, B1, A1, G1. Fingerings: Treble (1, 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2, 1), Bass (1, 2, 3, 4, 3, 2, 1).

System 2: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Bass staff starts with a quarter note G2, followed by quarter notes F2, E2, D2, C2, B1, A1, G1. Fingerings: Treble (1, 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2, 1), Bass (1, 2, 3, 4, 3, 2, 1).

System 3: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Bass staff starts with a quarter note G2, followed by quarter notes F2, E2, D2, C2, B1, A1, G1. Fingerings: Treble (1, 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2, 1), Bass (1, 2, 3, 4, 3, 2, 1).

System 4: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Bass staff starts with a quarter note G2, followed by quarter notes F2, E2, D2, C2, B1, A1, G1. Fingerings: Treble (1, 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2, 1), Bass (1, 2, 3, 4, 3, 2, 1).

System 5: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Bass staff starts with a quarter note G2, followed by quarter notes F2, E2, D2, C2, B1, A1, G1. Fingerings: Treble (1, 2, 3, 4, 5, 4, 3, 2, 1), Bass (1, 2, 3, 4, 3, 2, 1).

1

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems of music. Each system includes a treble clef staff with a key signature of two sharps (F# and C#) and a 2/4 time signature. The music is written in a style that uses dotted rhythms and slurs. Below each staff is a set of guitar tablature with three lines (T, A, B) and numerical fret numbers. The systems are numbered 12, 14, 16, 18, and 20. The tablature for system 12 is: T: 19, 19, 20, 19, 16, 15, 16; A: 14, 14, 14, 16, 15, 17, 19, 17; B: (empty). System 14: T: 15, 16, 16, 14, 15, 17, 19, 20, 17, 19, 17, 15, 17; A: (empty); B: (empty). System 16: T: 19, 19, 20, 19, 16, 14, 16, 15, 15, 15, 14, 12, 10, 12, 17; A: (empty); B: (empty). System 18: T: 19, 19, 19, 19, 20, 17, 19, 20, 17, 19, 17, 15, 17; A: (empty); B: (empty). System 20: T: 19, 19, 20, 19, 16, 15, 16, 14, 14, 14, 16, 15, 17, 19, 17; A: (empty); B: (empty).

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems. Each system includes a treble clef staff with a key signature of two sharps (F# and C#) and a bass clef staff with fingerings for the Treble (T), Middle (A), and Bass (B) positions. The systems are numbered 22, 24, 26, 29, and 31. The notation includes various note values, rests, and slurs. The bass staff contains numerical fingerings for each note. A double bar line with repeat dots is present in the second measure of the third system.

System 22: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, and C5. Bass staff: T (15), A (16), B (16) in the first measure; T (15), A (16), B (14) in the second measure; T (14), A (14), B (14) in the third measure; T (16), A (17), B (16) in the fourth measure; T (15), A (16), B (16) in the fifth measure.

System 24: Treble staff starts with a quarter note D5, followed by quarter notes E5, F#5, and G5. Bass staff: T (12), A (10), B (14) in the first measure; T (10), A (12), B (14) in the second measure; T (16), A (15), B (15) in the third measure; T (14), A (12), B (10) in the fourth measure; T (12), A (10), B (12) in the fifth measure; T (17), A (17), B (17) in the sixth measure.

System 26: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, and C5. Bass staff: T (14), A (15), B (15) in the first measure; T (15), A (16), B (16) in the second measure; T (14), A (14), B (14) in the third measure; T (16), A (17), B (17) in the fourth measure; T (17), A (17), B (17) in the fifth measure; T (16), A (16), B (16) in the sixth measure.

System 29: Treble staff starts with a quarter note D5, followed by quarter notes E5, F#5, and G5. Bass staff: T (14), A (14), B (14) in the first measure; T (14), A (12), B (10) in the second measure; T (12), A (10), B (12) in the third measure; T (14), A (14), B (14) in the fourth measure; T (12), A (15), B (17) in the fifth measure; T (19), A (19), B (19) in the sixth measure.

System 31: Treble staff starts with a quarter note G4, followed by quarter notes A4, B4, and C5. Bass staff: T (20), A (17), B (19) in the first measure; T (19), A (16), B (15) in the second measure; T (16), A (16), B (16) in the third measure; T (14), A (14), B (14) in the fourth measure; T (16), A (17), B (17) in the fifth measure; T (17), A (17), B (17) in the sixth measure; T (16), A (16), B (16) in the seventh measure.

4

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems of music. Each system includes a treble clef staff with a key signature of one sharp (F#) and a guitar tablature staff. The tablature staff is divided into three parts: the top line is labeled 'T', the middle line 'A', and the bottom line 'B'. The music is written in a style that uses dots on the strings to indicate fret positions and numbers to indicate specific frets. The systems are numbered 33, 35, 38, 40, and 42. The first system (33) shows a sequence of notes on the A string (14, 17, 19) and B string (19, 16, 14, 16) in the first measure, followed by notes on the T string (15, 15, 15) and A string (14, 12, 10, 12, 17) in the second measure. The second system (35) features a repeat sign in the first measure, with notes on the T string (19, 16, 16) and A string (14, 15, 17) in the second measure, and notes on the T string (17, 19, 17, 15, 17) and A string (19, 19) in the third measure. The third system (38) shows notes on the T string (19, 19, 20, 19, 16, 15, 16) and A string (14, 14, 14, 16, 15, 17, 19, 17) across two measures. The fourth system (40) has notes on the T string (15, 16, 16, 19, 20, 17) and A string (14, 14, 17, 19, 17, 15, 17) across two measures. The fifth system (42) shows notes on the T string (19, 19, 20, 19, 16, 14, 16) and A string (15, 15, 15, 14, 17, 15, 17, 17) across two measures.

4

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems of music. Each system includes a treble clef staff with a key signature of two sharps (F# and C#) and a guitar tablature staff. The tablature staff is labeled with 'T', 'A', and 'B' for the treble, auxiliary, and bass strings respectively. The music is written in a melodic style with various note values and fingerings indicated by numbers on the strings.

System 1 (Measures 44-45):
Measure 44: Treble clef has notes G4, A4, B4, C5, D5. Tablature: T-19, A-19, B-19, 20. Measure 45: Treble clef has notes D5, E5, F#5, G5, A5. Tablature: T-17, A-14, B-14, 17, 19, 17, 15, 17.

System 2 (Measures 46-47):
Measure 46: Treble clef has notes G4, A4, B4, C5, D5, E5. Tablature: T-19, A-19, B-20, 19, 16, 15, 16. Measure 47: Treble clef has notes D5, E5, F#5, G5, A5, B5. Tablature: T-14, A-14, B-14, 12, 10, 12, 14, 17.

System 3 (Measures 48-49):
Measure 48: Treble clef has notes G4, A4, B4, C5, D5. Tablature: T-15, A-16, B-16, 15, 16. Measure 49: Treble clef has notes D5, E5, F#5, G5, A5, B5. Tablature: T-17, A-16, B-15, 16, 14, 14, 12, 14.

System 4 (Measures 50-51):
Measure 50: Treble clef has notes G4, A4, B4, C5, D5, E5. Tablature: T-15, A-17, B-19, 17, 16, 14, 16. Measure 51: Treble clef has notes D5, E5, F#5, G5, A5, B5. Tablature: T-15, A-15, B-15, 14, 17, 19, 17, 17.

System 5 (Measure 52):
Measure 52: Treble clef has notes G4, A4, B4, C5. Tablature: T-19, A-19, B-19.

APÊNDICE Q – 394 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Fourth Floor, The
reel

10-10-10-14-17-10-10-10 | 14-10-12-10-10-10-14-10 | 12-9-9-9-5-7-9-10 | 12-17-17-14-15-12-9-12

T
A
B

5

10-10-10-14-17-10-10-10 | 14-10-12-10-10-10-14-10 | 12-9-9-9-5-7-9-10 | 12-10-10-9-10-7-5-7

T
A
B

9

10-10-10-14-17-10-10-10 | 14-10-12-10-10-10-14-10 | 12-9-9-9-5-7-9-10 | 12-17-17-14-15-12-9-12

T
A
B

13

Musical notation for measure 13, including a treble clef, key signature of one sharp (F#), and a guitar tablature below. The notation consists of a single staff with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The melody is written in eighth notes. The guitar tablature below the staff is labeled 'TAB' and shows the fret numbers for each note: 10-10-10-14-17-10-10-10 | 14-10-12-10-10-10-14-10 | 12-9-9-9-5-7-9-10 | 12-10-10-9-10 | 14-

17

Musical notation for measure 17, including a treble clef, key signature of one sharp (F#), and a guitar tablature below. The notation consists of a single staff with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The melody is written in eighth notes. The guitar tablature below the staff is labeled 'TAB' and shows the fret numbers for each note: 14-10-10-10-7-10-5-10 | 14-10-10-10-5-10-14-17 | 12-9-9-9-5-7-9-10 | 12-17-17-14-15-12-9-12-

21

Musical notation for measure 21, featuring a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The melody consists of eighth notes. Below the staff is a guitar TAB system with four measures of fret numbers: 12-10-10-10-7-10-5-10, 14-10-10-10-5-10-14-17, 12-9-9-9-5-7-9-10, and 12-10-10-9-10-14.

25

Musical notation for measure 25, featuring a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The melody consists of eighth notes. Below the staff is a guitar TAB system with four measures of fret numbers: 17-10-10-10-7-10-5-10, 14-10-10-10-5-10-14-17, 12-9-9-9-9-10-10-10, and 10-12-12-12-12-14-14-14.

29

Musical notation for measure 29, featuring a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The melody consists of eighth notes. Below the staff is a guitar TAB system with four measures of fret numbers: 17-10-10-10-7-10-5-10, 14-10-10-10-5-10-14-17, 12-9-9-9-5-7-9-10, and 12-10-10-9-10-12.

33

Musical notation for measure 33, featuring a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The melody consists of eighth notes with triplets indicated by a '3' over a bracket. Below the staff is a guitar TAB system with four measures of fret numbers: 14-5-5-5-5-7-5-10-5, 5-5-5-14-5-5-5-5-14-5, 12-5-5-5-5-7-5-12-5, and 12-5-5-5-5-7-5-12-5.

36

T
A
B

37

T
A
B

40

T
A
B

41

T
A
B

44

T
A
B

45

T
A
B

APÊNDICE R - 394 NOTAS: ACO

1

Fourth Floor, The

reel

The musical score consists of five systems, each representing a measure of the reel. Each system contains a piano staff and a guitar staff. The piano staff uses a treble clef, a key signature of two sharps (F# and C#), and a 4/4 time signature. The guitar staff is divided into three parts: Treble (T), Alto (A), and Bass (B). The fret numbers for the guitar are as follows:

- System 1: T: 19 19 19 19 17 15 15 15; A: 14 15 17 19 19 19 19 19
- System 2: T: 17 18 18 18 19 16 18 19; A: 17 17 17 19 20 17 18 17
- System 3: T: 15 15 15 14 17 15 15 15; A: 14 15 17 15 15 15 14 15
- System 4: T: 17 18 18 18 19 16 18 19; A: 17 15 15 14 15 16 14 16
- System 5: T: 15 15 15 14 17 15 15 15; A: 14 15 17 15 15 15 14 15

1

2

The image displays a musical score for guitar, consisting of five systems. Each system includes a treble clef staff with a key signature of two sharps (F# and C#) and a bass clef staff with fingerings indicated by letters T, A, and B. The systems are numbered 11, 13, 15, 17, and 19. The notation features eighth and sixteenth notes, often beamed together, and includes slurs and accents. The bass staff contains numerical fret numbers (e.g., 17, 18, 19, 16, 15, 14) and letter fingerings (T, A, B) for each note.

2

21 3

23

25

27

29

4

Musical score for guitar, measures 31-39. The score is written for a right-handed player in the key of D major (one sharp). It consists of five systems, each with a treble clef staff and a bass clef staff. The bass clef staff contains fret numbers for the left hand. Measures 31-32: Treble clef has a sequence of eighth notes: D4, E4, F#4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F#4, E4, D4. Bass clef has fret numbers: 17, 18, 18, 18, 19, 16, 18, 19. Measure 33: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 19, 19, 19, 19, 16, 14, 15, 14. Measure 34: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 12, 10, 10, 10, 10, 12, 10, 12. Measure 35: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14. Measure 36: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14. Measure 37: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 19, 19, 19, 19, 16, 14, 15, 14. Measure 38: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14. Measure 39: Treble clef has a triplet of eighth notes: D4, E4, F#4, followed by a quarter note G4, then a triplet of eighth notes: A4, B4, C5, followed by a quarter note B4. Bass clef has fret numbers: 17, 17, 17, 17, 19, 20, 17, 18, 19, 19, 19, 17.

4

41 5

43

45

47

APÊNDICE S – 475 NOTAS: FINALE, NOTEFLIGHT E FINALE

Bridge Attack
reel

5

9

13

T
A
B

17

T
A
B

21

TAB

5 3-3 5 3-3 5 3 3 0-2-3-5-7-9-10-12 14 15 14 12-10-9-10-7-10 5-7-8-7-5-3-5-0-3

25

TAB

5 3-3 5 3-3 5 3 10-0-9-0-7-0-5-0 3-5-3-2-0-2-3-5-7 10-0-9-0-7-0-5-0

29

TAB

3-5-3-2-0-2-3-5-7 7-3-0-9-5-0-10-5 2-12-9-5-14-10-5-5 14 15 14 12-10-9-10-7-5

33

TAB

3-5-3-2-0 3 0 0 2-2 0-1-3 0-2-3-5 3-5-3-2-0-2-5-3-0

36

T
A
B

37

T
A
B

41

TAB

45

TAB

49

TAB

53

TAB

56

Musical notation for measure 56. The top staff is a treble clef with a sharp sign. It contains a sequence of notes: a quarter note on G4, a quarter note on A4, a triplet of quarter notes on B4, C5, and D5, a quarter note on E5, a quarter note on F5, a quarter note on G5, and a quarter note on A5. The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers: 2, 2, 0, 1, 3, 0, 2, 3, 5. A triplet bracket is placed over the notes 0, 1, and 3 in the TAB.

57

Musical notation for measure 57. The top staff is a treble clef with a sharp sign. It contains a sequence of notes: a quarter note on B4, a quarter note on C5, a quarter note on D5, a quarter note on E5, a quarter note on F5, and a quarter note on G5. The bottom staff is a guitar TAB with fret numbers: 7, 8, 10, 12, 15, 17. A triplet bracket is placed over the notes 7, 8, and 10 in the TAB.

APÊNDICE T – 475 NOTAS: ACO

1

Bridge Attack

reel

The musical score is written for guitar in 4/4 time, key of D major. It consists of four systems of music, each with a treble clef staff and a guitar staff. The guitar staff includes fret numbers and is divided into sections labeled J, A, and B. The music features eighth notes, triplets, and accents.

System 1 (Measures 1-2):
Treble clef: 4/4 time signature, key signature of one sharp (F#).
Guitar staff: J (2), A (2), B (2). Fret numbers: 2 0 1 3 0 2 3 5 | 3 5 3 2 0 2 5 3 0. Includes triplets and accents.

System 2 (Measures 3-4):
Treble clef: 4/4 time signature, key signature of one sharp (F#).
Guitar staff: J (2), A (2), B (2). Fret numbers: 2 2 0 1 3 0 2 3 5 | 3 5 3 2 3 5 5 5 7. Includes triplets and accents.

System 3 (Measures 5-6):
Treble clef: 4/4 time signature, key signature of one sharp (F#).
Guitar staff: J (8), A (8), B (8). Fret numbers: 8 0 0 8 0 0 7 0 | 5 7 5 3 2 0 2 3 7. Includes triplets and accents.

System 4 (Measures 7-8):
Treble clef: 4/4 time signature, key signature of one sharp (F#).
Guitar staff: J (0), A (0), B (0). Fret numbers: 0 0 5 0 3 0 2 3 | 3 2 3 0 0 2. Includes triplets and accents.

1

2

Musical score for guitar, measures 10-17. The score is written in treble clef with a key signature of one sharp (F#). It consists of four systems, each with a single staff and a guitar-specific staff below it. The guitar staff contains fret numbers for the strings. The first system (measures 10-11) features a melodic line with accents and a triplet. The second system (measures 12-13) continues the melodic line with similar phrasing. The third system (measures 14-15) includes a triplet and a melodic phrase. The fourth system (measures 16-17) concludes the passage with a melodic line and a final chord.

Measure 10: Treble clef, key signature of one sharp. Melody: quarter notes G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Fingering: 2, 2, 0, 1, 3, 0, 2, 3, 5. Accents: > over G4, > over C5. Triplet: 3 over B4, C5, D5. Measure 11: Melody: quarter notes E5, D5, C5, B4, A4, G4, F#4, E4. Fingering: 3, 5, 3, 2, 0, 2, 5, 3, 0. Triplet: 3 over E5, D5, C5. Measure 12: Melody: quarter notes G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Fingering: 2, 2, 0, 1, 3, 0, 2, 3, 5. Accents: > over G4, > over C5. Triplet: 3 over B4, C5, D5. Measure 13: Melody: quarter notes E5, D5, C5, B4, A4, G4, F#4, E4. Fingering: 3, 5, 3, 2, 3, 5, 0, 5, 7. Triplet: 3 over E5, D5, C5. Measure 14: Melody: quarter notes G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Fingering: 8, 0, 0, 8, 0, 0, 7, 0. Accents: > over G4, > over C5. Triplet: 3 over B4, C5, D5. Measure 15: Melody: quarter notes E5, D5, C5, B4, A4, G4, F#4, E4. Fingering: 5, 7, 5, 3, 2, 0, 2, 3, 7. Triplet: 3 over E5, D5, C5. Measure 16: Melody: quarter notes G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5. Fingering: 0, 0, 5, 0, 3, 0, 2, 3. Accents: > over G4, > over C5. Triplet: 3 over B4, C5, D5. Measure 17: Melody: quarter notes E5, D5, C5, B4, A4, G4, F#4, E4. Fingering: 3, 2, 3, 0, 0, 2. Triplet: 3 over E5, D5, C5.

2

3

Musical score for guitar, measures 18-26. The score is written for a single guitar and consists of five systems. Each system contains a treble clef staff with a key signature of one sharp (F#) and a bass clef staff with a 3/4 time signature. The music features a mix of eighth and sixteenth notes, often beamed together, with accents (>) and triplets (3) indicated. The bass staff includes fret numbers (0-15) and a '3' indicating a triplet. The systems are numbered 18, 20, 22, 24, and 26 at the beginning of each system.

3

4

Musical score for guitar, measures 28-35. The score is written for a single guitar with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The guitar part is shown on a single staff with a treble clef. The bass part is shown on three staves (J, A, B) with a bass clef. The score is divided into four systems, each containing two measures. Measure numbers 28, 30, 32, and 34 are indicated at the beginning of each system. The notation includes notes, rests, and fingerings. The bass part includes fingerings for the J, A, and B strings. The score includes accents (>) and triplets (3). The piece ends with a double bar line and repeat dots (:) in measure 35.

28

30

32

34

J
A
B

J
A
B

J
A
B

J
A
B

4

36

2 2 0 1 3 0 2 3 5 3 5 3 2 3 5 0 5 7

38

8 0 0 8 0 0 7 0 5 7 5 3 2 0 2 3 7

40

0 0 5 0 3 0 2 3 3 2 3 0 0 2

42

2 2 0 1 3 0 2 3 5 3 5 3 2 0 2 5 3 0

6

Musical notation for measures 44-45. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature. The right hand plays a sequence of eighth notes with accents and triplets. The left hand provides a bass line with fingerings indicated by numbers 0-7.

Musical notation for measures 46-47. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature. The right hand plays a sequence of eighth notes with accents and triplets. The left hand provides a bass line with fingerings indicated by numbers 0-7.

Musical notation for measures 48-49. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature. The right hand plays a sequence of eighth notes with accents and triplets. The left hand provides a bass line with fingerings indicated by numbers 0-7.

Musical notation for measures 50-51. The system includes a treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a common time signature. The right hand plays a sequence of eighth notes with accents and triplets. The left hand provides a bass line with fingerings indicated by numbers 0-7.

6

Musical score for guitar, measures 52-56. The score is written for a guitar with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The music consists of a single melodic line in the treble clef and a bass line in the bass clef. The bass line is primarily composed of a sequence of notes: 2, 2, 0, 1, 3, 0, 2, 3, 5, which is repeated in measures 52, 54, and 56. In measure 56, the bass line changes to 7, 8, 10, 12, 15, 17. The melodic line features a sequence of eighth notes: G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5, which is repeated in measures 52, 54, and 56. The melodic line is marked with accents (>) and triplets (3). The score is divided into three systems, each containing two measures. The first system covers measures 52 and 53, the second system covers measures 54 and 55, and the third system covers measures 56 and 57. The final measure (57) ends with a fermata.