

Gabriel Zafalon Garcia

**Trabalho de conclusão de curso: Síntese de  
População Estelar de Galáxias Ativas no  
Infravermelho Próximo**

Porto Alegre

2016

Apresentado à ComGrad/FIS em 14/11/2016

Gabriel Zafalon Garcia

## **Trabalho de conclusão de curso: Síntese de População Estelar de Galáxias Ativas no Infravermelho Próximo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Física.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Física

Orientador: Rogério Riffel

Porto Alegre  
2016

# Resumo

Esse trabalho trata de investigar a relação entre a formação estelar circumnuclear e a atividade nuclear em galáxias ativas (AGN). Dentre os possíveis cenários, o processo de influxo de gás que alimenta o AGN pode ser simultâneo a episódios de formação estelar ou também pode se passar em uma fase pós-starburst. Além disso, pode não ter correlação com processos de formação estelar. Para se determinar a existência ou não-existência de uma relação entre formação estelar nuclear e AGN, pode-se analisar as populações estelares em volta do núcleo, buscando por populações jovens ou intermediárias. Para isso, utiliza-se a técnica de síntese de população estelar. Neste trabalho, foram analisadas as populações estelares da região nuclear e emissão estendida de 5 AGNs do universo local com espectros no infravermelho próximo (NIR:0.8-2.4 $\mu$ m) obtidos com o espectrógrafo SpeX, anexado ao telescópio IRTF da NASA. São eles: MCG-5-13-17, MRK 1066, MRK 993, NGC 2110 e NGC 5728. A síntese de população estelar foi realizada com o código STARLIGHT, utilizando uma base de populações estelares simples (SSPs) de Maraston et al. 2005, e também componentes do contínuo (FC) e de corpo negro (BB). Em todas as cinco galáxias da amostra foram encontradas frações significativas (>20%) de populações estelares jovens ou intermediárias, sugerindo que existe uma relação entre formação estelar circumnuclear e a atividade do AGN.

**Palavras-chaves:** Galáxias Ativas. Infravermelho Próximo. Formação estelar circumnuclear.

# Abstract

We present a study on the possible correlation between circumnuclear stellar formation and nuclear activity in active galaxies (AGN). The main possible scenarios include: AGN fuelling is coeval with star formation, or follows it during a post-starburst phase. Also, it may be uncorrelated with star formation episodes. In order to determine whether or not there is a relation between circumnuclear star formation and AGN, the stellar populations around the nucleus of AGN need to be probed, in search of young or intermediate age populations. To determine what type of stellar populations reside in the nuclear region, there can be used the stellar population synthesis technique. In this work, the stellar populations in the nuclear and extended emission of 5 AGN from the local universe were analysed using spectra in the near infrared region (NIR:0.8-2.4 $\mu$ m) obtained with the Infrared Telescope Facility SpeX, from NASA. The analysed galaxies are: MCG-5-13-17, MRK 1066, MRK 993, NGC 2110 e NGC 5728. The stellar population synthesis was carried out by the software STARLIGHT, utilizing as a base set the simple stellar population (SSPs) models from Maraston et al. 2005, in conjunction with featureless continuum (FC) and black body (BB) components. In all of the 5 galaxies from the sample there were found a significant amount (>20%) of young or intermediate age stellar populations, suggesting that there is a relation between circumnuclear stellar formation and AGN activity.

**Key-words:** Active Galaxies. Near infrared region. Circumnuclear stellar formation.



# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	5
1.1	Núcleo Ativo de Galáxia . . . . .	5
1.2	Objetivos . . . . .	7
2	DADOS . . . . .	11
3	METODOLOGIA . . . . .	17
3.1	Síntese com STARLIGHT . . . . .	17
3.2	A base de dados . . . . .	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	19
4.1	MCG-5-13-17 . . . . .	19
4.2	MRK 1066 . . . . .	22
4.3	MRK 993 . . . . .	24
4.4	NGC 2110 . . . . .	24
4.5	NGC 5728 . . . . .	26
	Conclusão e perspectivas . . . . .	30
	REFERÊNCIAS . . . . .	31
	APÊNDICE A – SÍNTESE DE EXTRAÇÕES EXTRA-NUCLEARES	33
A.1	MCG-5-13-17 . . . . .	33
A.2	MRK 1066 . . . . .	40
A.3	MRK 993 . . . . .	48
A.4	NGC 2110 . . . . .	54
A.5	NGC 5728 . . . . .	64

# 1 Introdução

## 1.1 Núcleo Ativo de Galáxia

Um Núcleo Ativo de Galáxia (AGN) é uma região compacta no centro de galáxias que possui uma distribuição espectral de energia (SED) que não pode ser explicada por processos que ocorrem no interior estelar. Essa SED se estende por uma ampla faixa de frequências, com luminosidades que podem exceder em até 100 vezes a da galáxia hospedeira. Na Figura 1, é possível ver a comparação entre um espectro de uma galáxia ativa do tipo quasar, que pertence à classe dos AGNs mais luminosos, e de uma galáxia elíptica não-ativa. Além das características mencionadas de alta luminosidade do núcleo de aparência estelar e larga faixa de frequências, algumas outras características podem ser encontradas no espectro de um AGN, tais como: polarização do espectro, linhas de emissão largas e estreitas e variabilidade no espectro em pequenas escalas de tempo. [17]

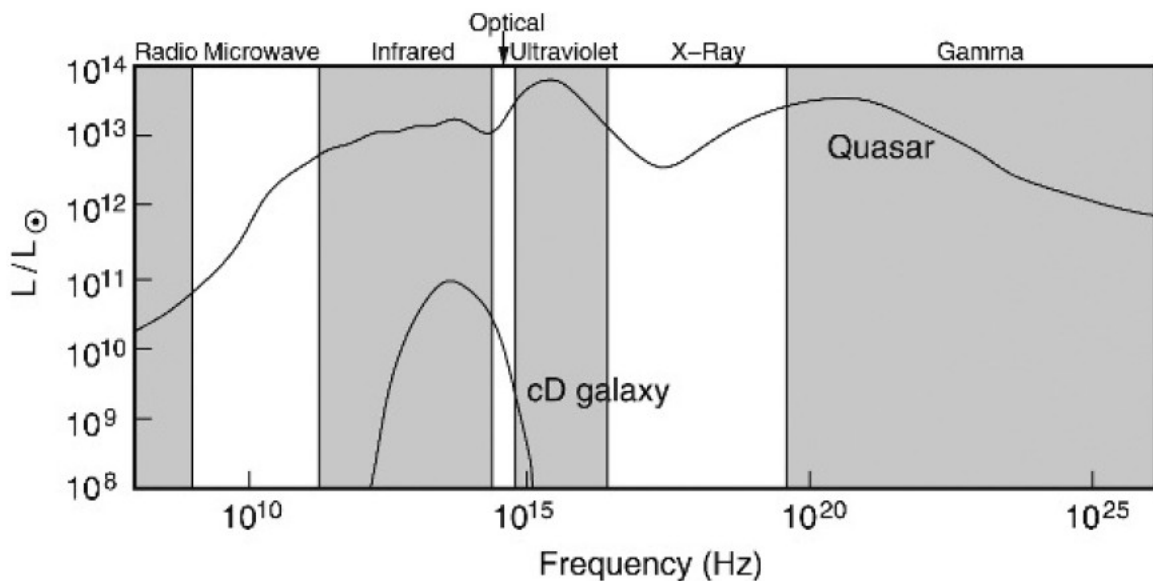


Figura 1: Distribuição espectral de energia de uma galáxia elíptica central dominante (cD) não-ativa e de uma galáxia com AGN tipo Quasar. (P. Schneider, Extragalactic Astronomy and Cosmology) [17]

O paradigma atual para explicar o que é observado no espectro de um AGN é que esse consiste em um buraco negro supermassivo (SMBH) que está acretando matéria na forma de um disco de acreção (Figura 2). Durante o processo de acreção, o disco é aquecido ao longo do seu raio, emitindo radiação em uma faixa longa de temperaturas, explicando a larga faixa de frequências observada. Essa emissão dada pelo disco pode ser modelada por uma lei de potências.

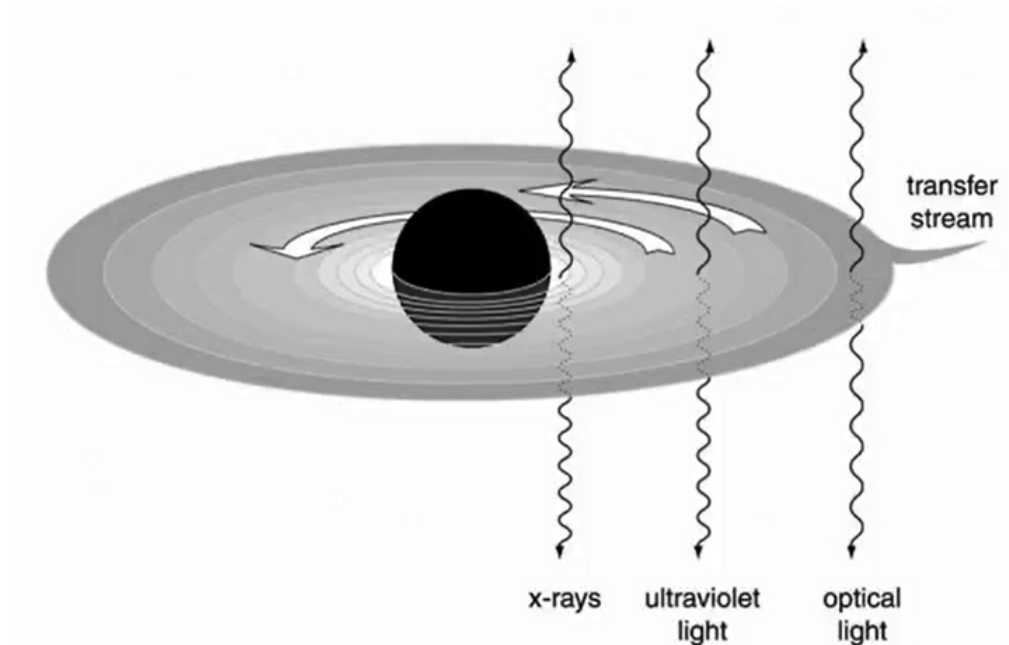


Figura 2: Processo de geração de energia de um AGN: Matéria sendo acretaada por um SMBH na forma de um disco de acreção.(P. Schneider, Extragalactic Astronomy and Cosmology) [17]

As outras características que podem ser observadas em um AGN, como as linhas de emissão largas e estreitas, a polarização e a variabilidade do espectro podem ser explicadas de maneira simplificada pelo Modelo Unificado dos AGNs. De acordo com este modelo, o AGN consiste, além do SMBH acretaando matéria, de um tórus de poeira quente (emitindo como um corpo negro) e regiões de gás ionizado (Figura 3). Dessa maneira, as linhas de emissão provêm do gás ionizado, com a largura das linhas dependendo da dispersão de velocidade do gás. As nuvens de gás ionizado mais próximas ao SMBH são chamadas de Região de Linhas Largas (BLR), enquanto que as mais afastadas são chamadas de Região de Linhas Estreitas (NLR). Além disso, durante o processo de acreção, o SMBH emite um jato de radiação síncroton, que é perpendicular ao tórus. Esse jato possui variabilidade em baixas escalas de tempo, explicando essa característica também observada. Por fim, a polarização pode ser dada pelo espalhamento da radiação pelo tórus.

De acordo com o Modelo Unificado, a observação de algumas dessas características não dependem de propriedades intrínsecas ao AGN, mas, sim, da posição do observador em relação ao tórus de poeira. Por exemplo, se o observador estiver no plano do tórus, a BLR será obstruída, de forma que só tenham linhas estreitas no espectro. Nesse caso, o AGN pode ser classificado como uma Seyfert II ou uma Radiogaláxia de linhas estreitas (NLRG). Se o observador estiver inclinado em relação ao tórus, tanto linhas estreitas quanto largas são encontradas e o AGN pode ser classificado como uma Seyfert I, um Quasar ou uma Radiogaláxia de linhas largas (BLRG). Por fim, se o observador estiver

perpendicular em relação ao tórus, verá um espectro sem linhas de emissão proveniente da radiação síncrotron e o AGN seria classificado como um Blazar.

Contudo, a diferença entre uma Seyfert, um Quasar e uma Radiogaláxia estão em suas luminosidades. Uma Radiogaláxia possui alta luminosidade em rádio, enquanto que um Quasar possui alta luminosidade total (até 100 vezes a de sua galáxia hospedeira). As galáxias Seyfert são conhecidas como uma classe de AGNs de baixa luminosidade, de forma que a galáxia hospedeira ainda pode ser detectada. No caso de um Quasar, sua luminosidade ofusca a da galáxia hospedeira, de forma que só é detectado um objeto quase pontual. Essas diferenças de luminosidade não podem ser explicadas apenas pela posição do observador em relação ao tórus, e, sim, pelas características intrínsecas ao AGN, como a massa e a velocidade de rotação do SMBH.

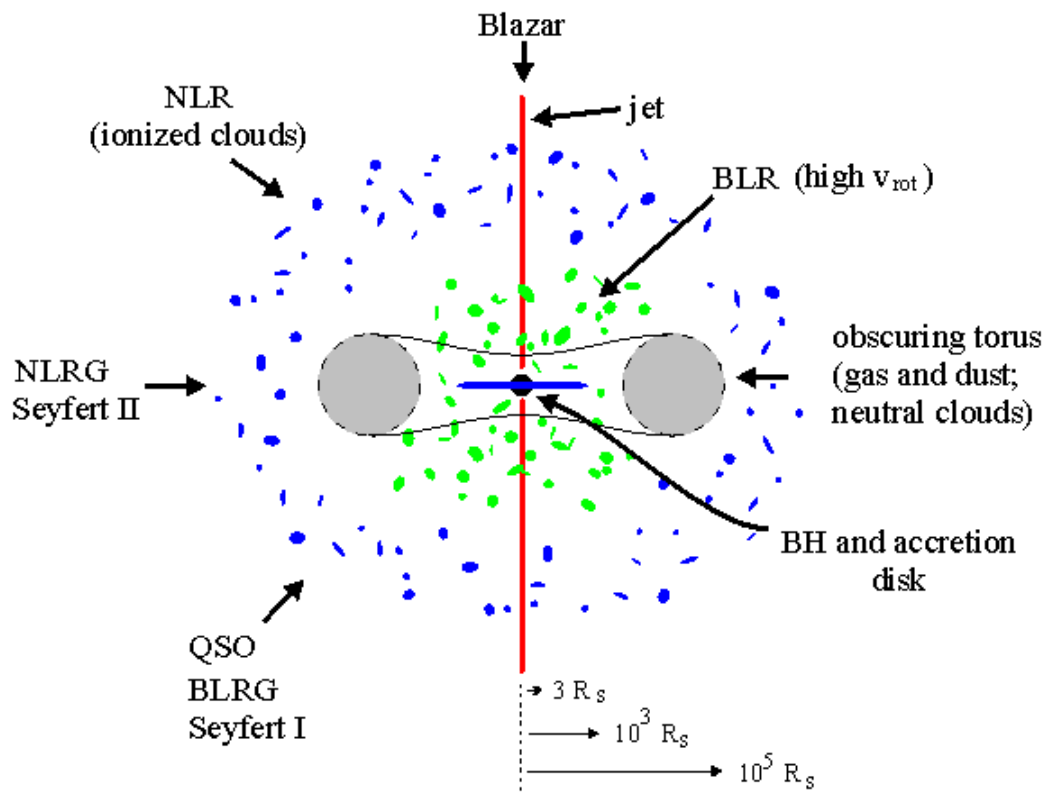


Figura 3: Modelo Unificado dos AGNs. Os diversos tipos de AGN dependem da posição do observador em relação ao tórus de poeira. <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/images/epo/gallery/agns/> (Visitado em 13/11/16) [1]

## 1.2 Objetivos

Um problema da Astrofísica moderna consiste em entender a relação entre a formação estelar circumnuclear e a atividade do AGN. O AGN é uma fase em que o SMBH

no centro de uma galáxia está sendo alimentado por um influxo de gás. Quando o gás acretado gera o disco de acreção, começam a ocorrer processos de *feedback*, como os jatos de partículas relativísticas e a radiação emitida pelo gás quente do disco (Frank, J. et al. 2002 [7], Elvis, M. et al. 2000 [6], Ciotti, L. et al. 2010 [3]). Os modelos e simulações atuais de influxo de gás em AGN utilizam episódios de formação estelar circumnuclear (Kormendy, J. et al. 2013 [11], Heckman, T. et al. 2014 [8]), mas ainda não é possível saber se a alimentação do SMBH ocorre juntamente com estes episódios de formação estelar (Kawakatu N. et al. 2008 [10]), ou acontece posteriormente durante uma fase pós-starburst (Cid Fernandes, R. et al. 2005 [2], Davies, R. et al. 2007 [5], Davies, R. et al. 2009 [4]). Ainda, existe a possibilidade de que a alimentação do AGN não esteja associada com nenhum processo de formação estelar (Sarzi, M. et al. 2007 [16]). Dessa forma, é de grande interesse científico estudar a possível relação entre a formação estelar circumnuclear e a atividade nuclear, levando em conta principalmente a luminosidade do AGN. Alguns estudos como os de Davis et al. 2007 [5] e Kauffmann et al. (2003) [9] sugerem que as presenças de estrelas jovens próximas ao AGN só acontecem para Seyferts com  $L_{AGN} > 10^{43}$  erg/s, ou seja, taxas de acreção maiores que  $10^{-3} M_{\odot}$ /ano.

Um possível teste para tentar revelar a relação entre a formação estelar e o AGN é determinar se existem populações estelares jovens ou intermediárias em uma região de poucas centenas de parsec a partir do AGN. Se existem populações jovens, isso significa que a formação estelar acontece juntamente com a época do AGN. Se forem encontradas populações de idade intermediárias, então a alimentação do AGN acontece após a formação estelar, em uma fase pós-starburst. Na presença dominante de populações velhas, então a atividade do AGN não permite formação estelar, de forma que não existe relação entre as duas coisas.

Com essa motivação, separamos o espectro do contínuo de galáxias Seyfert em suas componentes distintas (Figura 4), de forma que se possa estudar a contribuição de cada uma individualmente. Ao separar as Populações Estelares (SPs) das outras componentes, busca-se entender melhor a relação entre a alimentação do SMBH e os episódios de formação estelar.

Para isso, utilizam-se espectros no infravermelho próximo (NIR: 0.8-2.4  $\mu m$ ), pois nesta região nenhum componente é dominante. No NIR, aplica-se o método de Síntese de População Estelar, que utiliza modelos de SPs de única metalicidade e idade, chamadas de Populações Estelares Simples (SSPs) e busca ajustar as SSPs, juntamente com as componentes do tórus e disco de acreção, gerando o espectro observado.

Com as componentes da emissão do contínuo separadas, é possível, por exemplo, determinar as idades e metalicidades das SPs e a quantidade de poeira quente presente no núcleo da galáxia ativa.

Neste trabalho, estudamos as componentes de emissão do contínuo de cinco galáxias

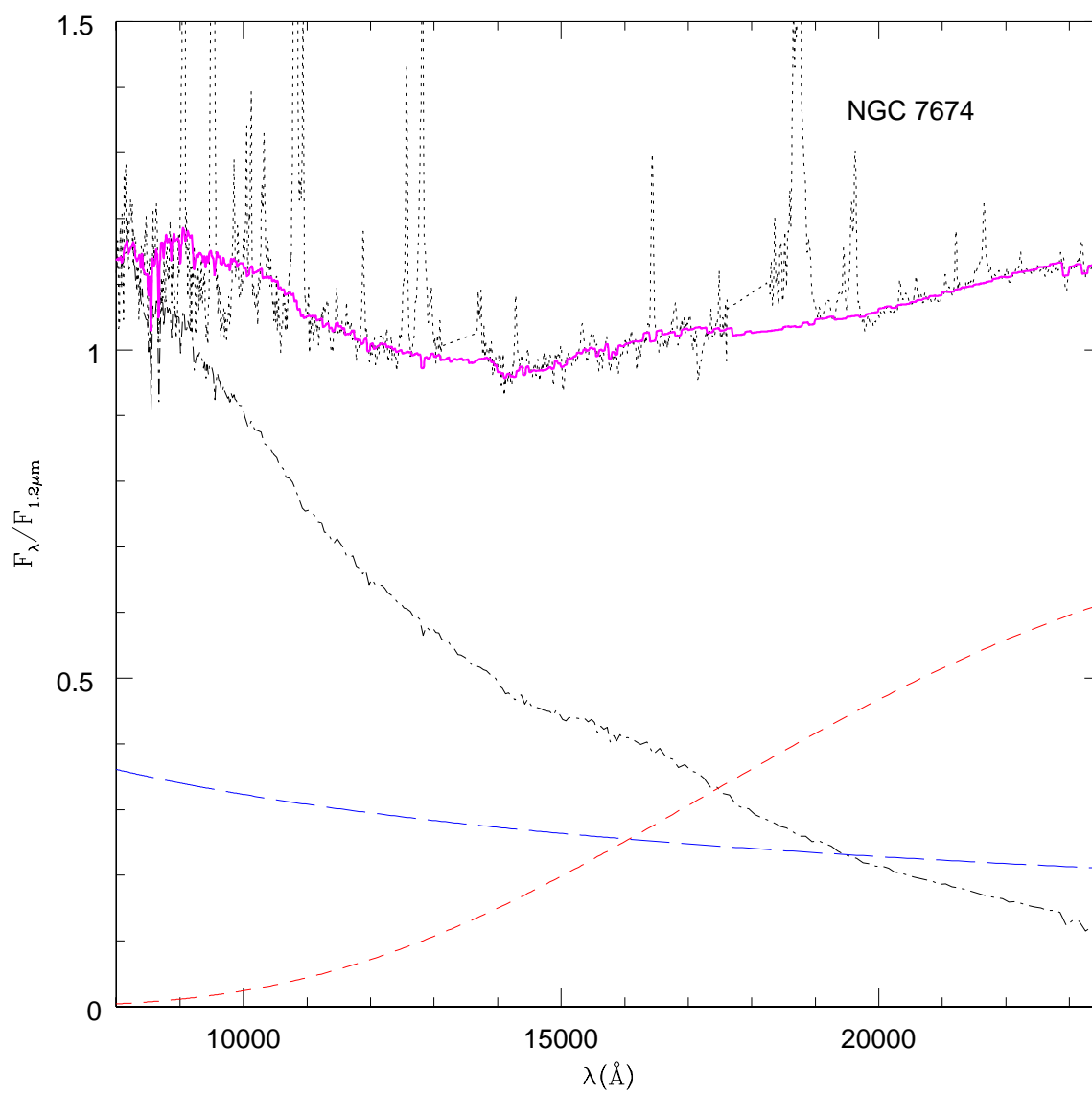


Figura 4: Separação do contínuo de NGC 7674 em suas três componentes: Emissão do disco de acreção (azul), tórus de poeira (vermelho) e SPs (preto) (Riffel et al. 2009 [14])

ativas: MCG-5-13-17, MRK 1066, MRK 993, NGC 2110 e NGC 5728. A síntese espectral desses AGNs já havia sido realizada, porém, sem a utilização de um espectro de erro, o que dificulta a análise da eficácia da síntese. Além disso, só se havia feito as sínteses para abertura nuclear destas galáxias, mas agora é feito também para aberturas extra-nucleares, estendendo-se até algumas centenas de parsec do núcleo.

## 2 Dados

O objetivo deste trabalho é o de estudar a formação estelar que domina a emissão de luz em regiões circumnucleares e estendidas em uma amostra de 24 AGNs, cujos espectros integrados foram analisados em Riffel et al. (2009) [14]. Essa amostra é uma subamostra de 47 AGNs de Riffel et al. (2006) [15] do universo local. As 24 galáxias da subamostra possuem linhas e bandas de absorção proeminentes e são divididas em 9 Seyferts 1 e 15 Seyferts 2. No presente trabalho de conclusão de curso conseguimos analisar cinco destes objetos, são eles: MCG-5-13-17, MRK 1066, MRK 993, NGC 2110 e NGC 5728. Para tal foram utilizados espectros no NIR ( $0.8-2.4 \mu m$ ), obtidos com o espectrógrafo SpeX, anexado ao telescópio IRTF da NASA. Os espectros podem ser vistos nas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9. As extrações consistem em uma: uma abertura nuclear ( $0.6''$ ), e algumas aberturas extra-nucleares ( $0.2''$ ). As aberturas extra-nucleares são chamadas de a, b, c, d, e, f, g e h e etc e representam extrações de  $+0.2''$ a partir da anterior.



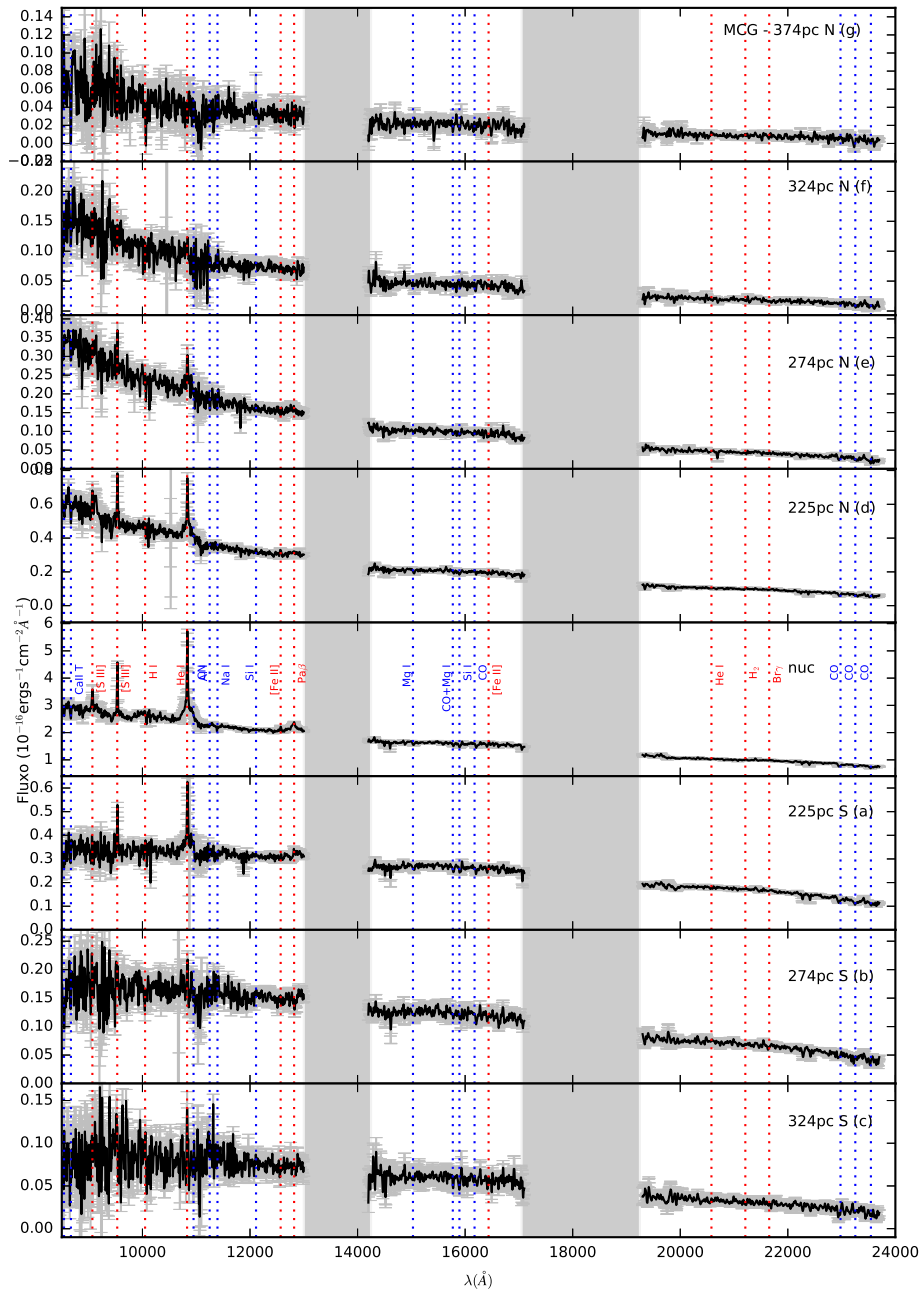


Figura 5: Espectros das aberturas nuclear e extra-nucleares de MCG-5-13-17. Direção Norte e Sul indicadas por N e S, respectivamente. Abertura nuclear indicada por (nuc), enquanto que as extra-nucleares são indicadas pelas letras (a) até (g). Barras de erro em cinza. Linhas de absorção (azul) e emissão (vermelha) marcadas. Regiões de bandas telúricas hachuradas em cinza.

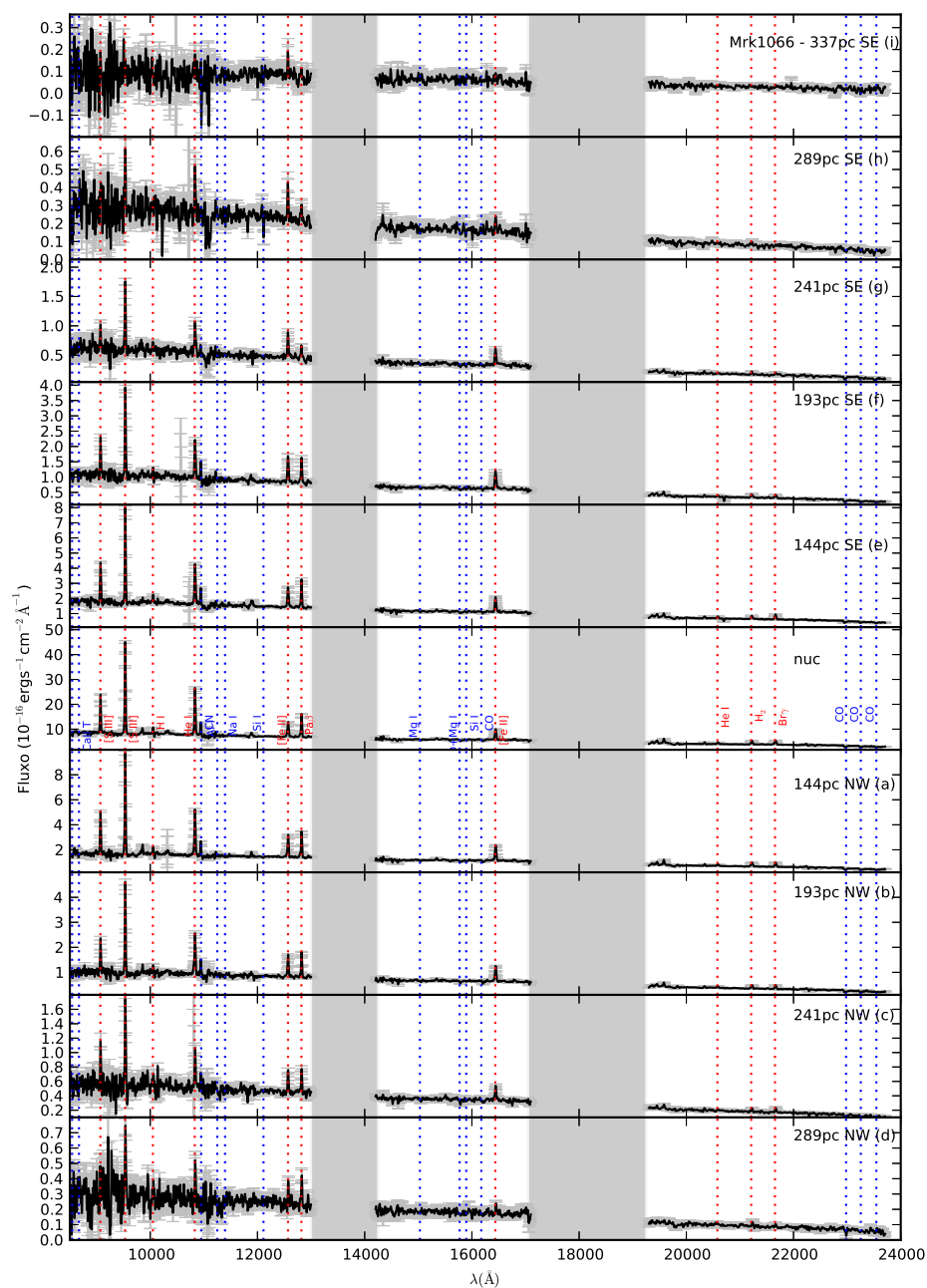


Figura 6: Mesmo que Figura 5, mas para MRK 1066.

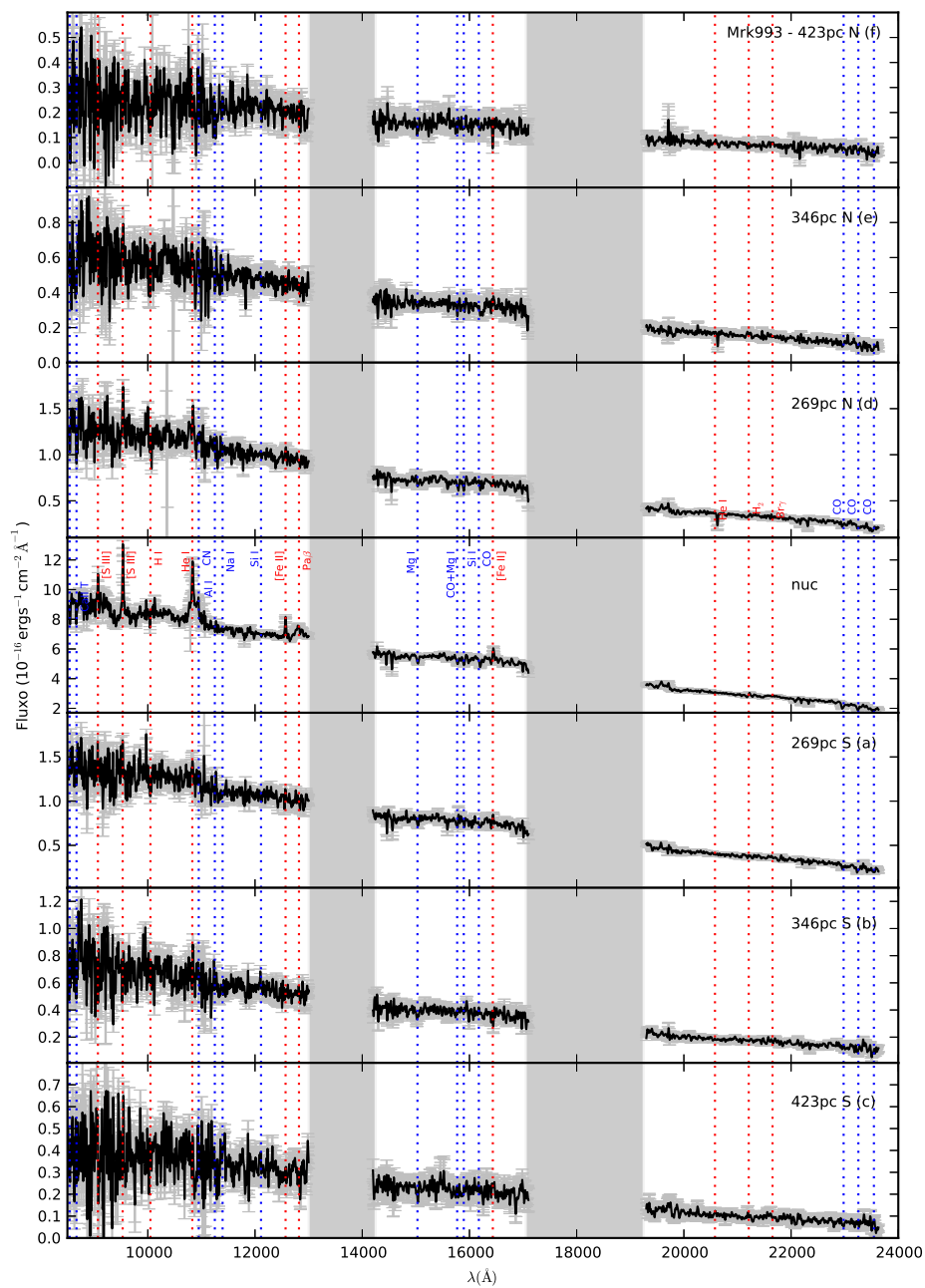


Figura 7: Mesmo que Figura 5, mas para MRK 993.

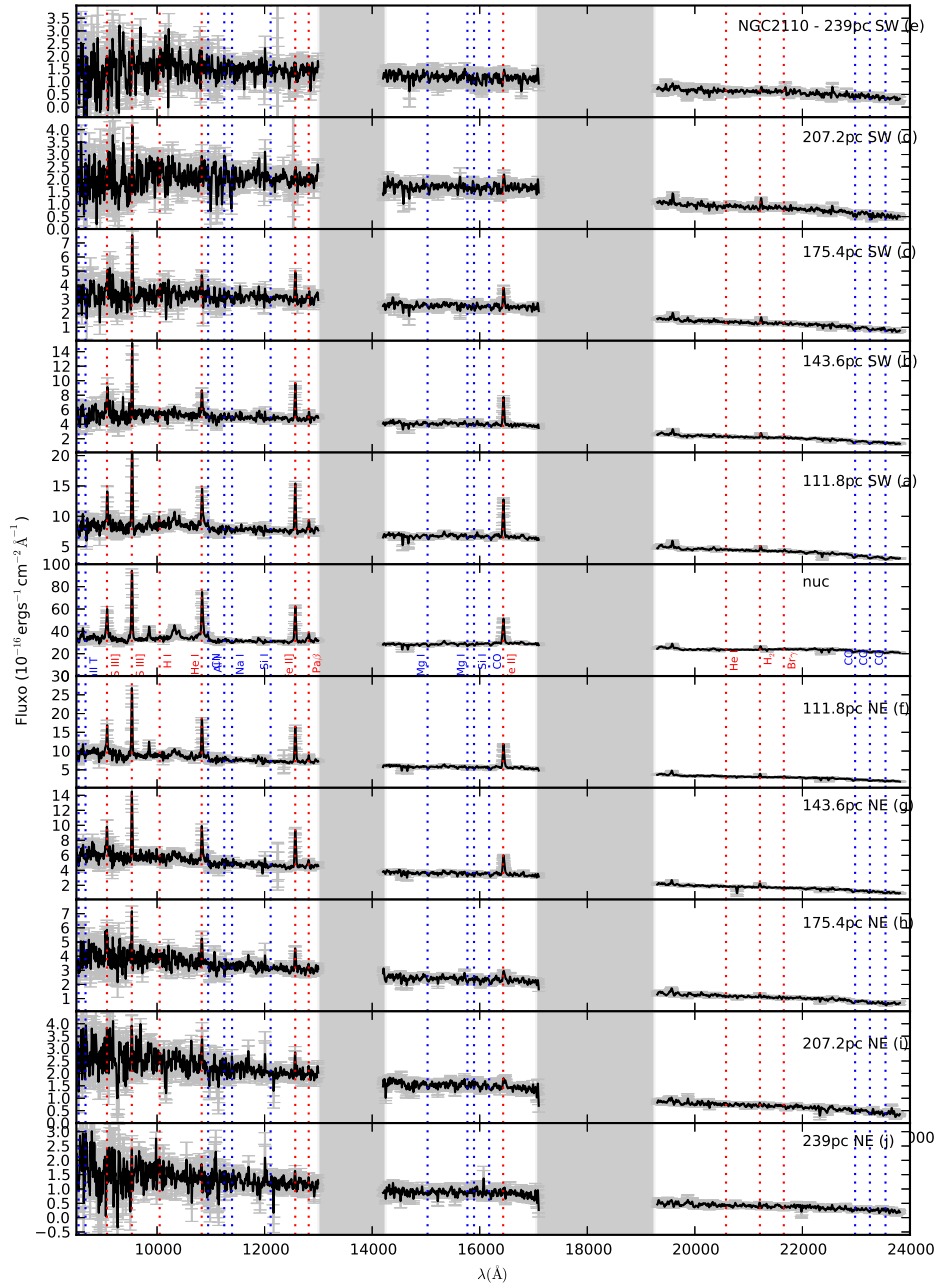


Figura 8: Mesmo que Figura 5, mas para NGC 2110.

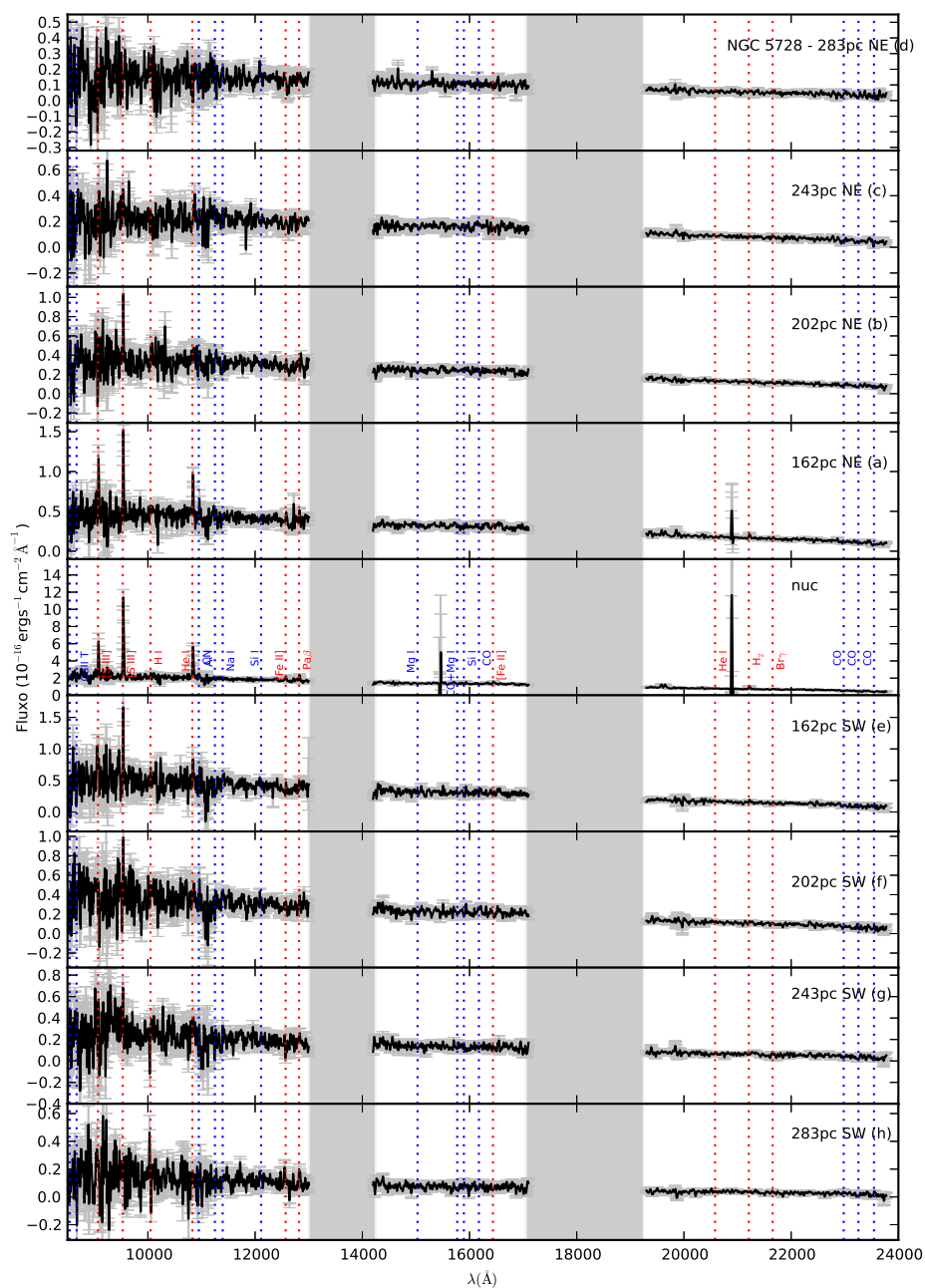


Figura 9: Mesmo que Figura 5, mas para NGC 5728.

## 3 Metodologia

### 3.1 Síntese com STARLIGHT

Para realizar a síntese dos espectros, foi utilizado o código STARLIGHT de Cid Fernandes, R. et al. (2005, 2006) [2, 13]. STARLIGHT gera um espectro modelo a partir de uma combinação dos componentes da base e utiliza diversos métodos numéricos para minimizar a seguinte equação:

$$\chi^2 = \sum_{\lambda} [(O_{\lambda} - M_{\lambda})w_{\lambda}]^2 \quad (3.1)$$

Em que  $O$  é o espectro observado,  $M$  é o modelo gerado a partir da base e  $w$  é o inverso da incerteza, exceto por dados espúrios e linhas de emissão, que são removidas da análise fazendo  $w = 0$ .

Apesar de o STARLIGHT utilizar o espectro de erro na minimização da equação acima, o resultado da síntese,  $M$ , não é um espectro que possui barras de erro. Por isso, o espectro de erro do resultado é gerado de outra maneira. Para cada espectro observado são realizadas 100 simulações, nas quais um novo espectro é calculado assumindo uma distribuição gaussiana em que as incertezas representam um sigma de desvio da gaussiana. Após geradas as simulações, é realizada a síntese para cada uma delas e o resultado final é a média e o desvio padrão das soluções individuais, de forma a se obter um resultado com barras de erro.

### 3.2 A base de dados

Para o ajuste da Síntese, é preciso de uma base de dados apropriada, que seja capaz de descrever as características observadas no espectro do AGN. Para isso, incluem-se na base tanto os modelos de SSPs, como componentes do toroide de poeira e do disco de acreção, pois ambos têm importância nessa faixa espectral. O toroide de poeira é modelado como um corpo negro emitindo a uma temperatura  $T$ , enquanto que o disco de acreção é modelado por uma lei de potência. Para a base de dados, foram utilizados modelos de corpo negro com temperaturas de 700K a 1400K, em intervalos de 100K.

Para o ajuste do disco de acreção, utilizam-se modelos de Lei de Potência da forma:

$$F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha} \quad (3.2)$$

Em que  $F$  é o fluxo da radiação,  $\nu$  é a frequência e  $a$  é constante. Para a base de dados, foram utilizados valores de  $a$ : 1,25; 1,5; 1,75 e 2,50.

Finalmente, para o modelo das SSPs, foi utilizada a base de Maraston (2005) [12], cujos modelos levam em conta as estrelas pulsantes do Ramo Gigante Assimptótico (TP-AGBs) da evolução estelar, que têm grande importância no regime do NIR. Os valores de metalicidade utilizados são de  $Z = 0.0001, 0.0004, 0.01, 0.02$  e  $0.04$ . Os valores de idade utilizados são de estrelas com  $10^3$  à  $10^{10}$  anos.

## 4 Resultados e Discussão

Nesse capítulo, são apresentados os resultados obtidos da síntese espectral das galáxias MCG-5-13-17, MRK 1066, MRK 993, NGC 2110 e NGC 5728. As Figuras 10, 58, 14, 16, 18 representam o resultado da síntese da abertura nuclear de cada uma das galáxias, respectivamente (o resultado individual para as aberturas extra-nucleares está no Apêndice A). O painel superior representa o espectro observado (preto), as linhas de emissão e bandas telúricas que foram mascaradas (verde) e que, portanto, não fazem parte da síntese. Por fim, o espectro ajustado pela síntese (vermelho). Logo abaixo está o espectro residual, que é obtido subtraindo o espectro observado do ajustado, juntamente com as partes mascaradas (rosa). No painel inferior, estão os histogramas das populações estelares, das contribuições do disco de acreção (FC) e do toroide de poeira (BB). Os três primeiros histogramas são das populações estelares. No primeiro, as metalicidades estão somadas e os histogramas por idades estão pesados em fluxo (azul) e massa (vermelho). No segundo, os histogramas estão pesados em fluxo, porém separados em metalicidade, com bins de 0.02, 0.5, 1.0 e 2.0 vezes a metalicidade Solar. O terceiro é equivalente, porém pesado em massa. Finalmente, os dois últimos histogramas são as contribuições FC e BB, respectivamente.

Por outro lado, as Figuras 11, 13, 15, 17 e 19 representam a análise global de cada galáxia, contendo os resultados da síntese para todas as aberturas. Nos painéis (a) e (b), encontram-se os histogramas das populações estelares por abertura, pesadas em fluxo e massa, respectivamente. As populações estelares foram separadas nos seguintes bins de idade: jovens (azul)  $x_y$  ( $t \leq 50 \times 10^6 yr$ ), intermediárias (laranja)  $x_i$  ( $50 \times 10^6 < t \leq 2 \times 10^9 yr$ ), e velhas (vazados)  $x_o$  ( $t > 2 \times 10^9 yr$ ). O painel (c) apresenta os histogramas de metalicidade, em unidade de metalicidade solar, pesados em fluxo (cinza) e massa (branco). Em (d), a extinção  $A_v$  ao longo das aberturas. Em (e), o  $\chi^2$  e Adev, que indicam a qualidade do ajuste. Em (f), o perfil do contínuo, como medido com centro em  $\lambda_{cent} = 12240\text{\AA}$ . Finalmente, o painel (g) indica a razão sinal-ruído (SNR) ao longo das aberturas.

### 4.1 MCG-5-13-17

No painel (a) da figura 11, encontra-se uma predominância de populações de idade intermediária, com  $\approx 50\%$  na abertura nuclear e nas aberturas próximas ao núcleo na direção sul, e entre 40% e 60% na direção norte. A fração de populações jovens também é significativa, em torno de 40% na região sul, 30% no núcleo e até 60% na primeira extração extra-nuclear na direção norte. Populações velhas só foram encontradas no núcleo e na primeira abertura na direção sul, com frações de 20% e 10%, respectivamente. Porém, pelo



painel (b), com as contribuições pesadas em massa e não luminosidade, a contribuição aumenta para 60% e 40%. Isso se dá, pois as populações velhas possuem mais estrelas velhas, que são mais massivas e mais frias. No painel (c) se encontram as metalicidades. Foram encontradas metalicidades aproximadamente iguais à metalicidade Solar ao longo da galáxia, mas com o valor da metalicidade pesada em fluxo sendo metade da Solar na abertura nuclear. No painel (d) se encontra o avermelhamento, que é maior na direção norte da galáxia ( $A_v \approx 3$ ). Por fim, os painéis (e), (f) e (g) possuem informações quanto a qualidade do ajuste. No (e) estão presentes o  $\chi^2$  e o Adev, em (f) está o perfil do contínuo em  $\lambda_{cent} = 12240\text{\AA}$ , e (g) é o sinal ruído (SNR). A partir da Figura 10, se encontra o resultado da síntese apenas para a abertura nuclear. O componente FC do disco de acreção foi encontrado com uma contribuição de  $\approx 30\%$ . O componente de corpo negro não foi encontrado.

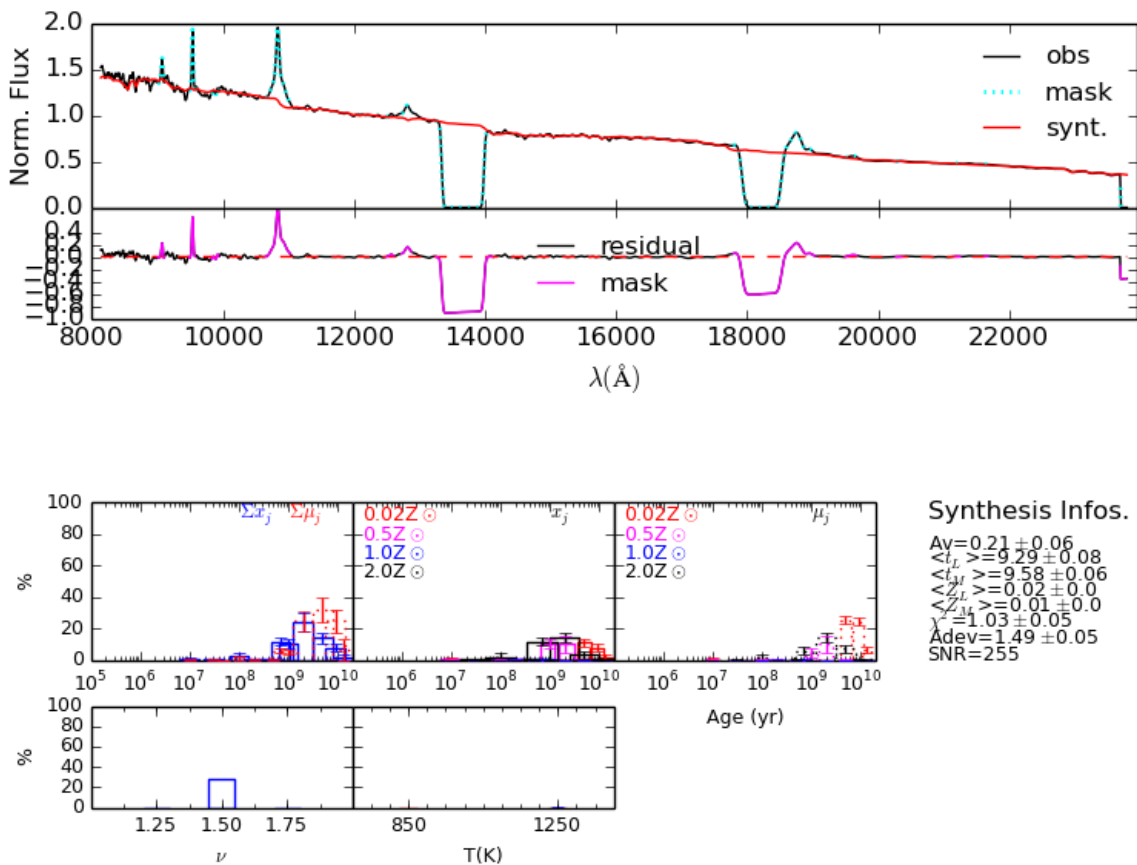


Figura 10: Síntese da abertura nuclear de MCG-5-13-17. O painel superior: espectro observado (preto), linhas de emissão e bandas telúricas mascaradas (verde), espectro ajustado pela síntese (vermelho). Abaixo está o espectro residual, juntamente com as partes mascaradas (rosa). No painel inferior, estão os histogramas das populações estelares: (1) somado nas metalicidades e pesados em fluxo (azul) e massa (vermelho), e separados em metalicidade, pesados em (2) fluxo e (3) massa, respectivamente. Por fim, os histogramas FC e BB.

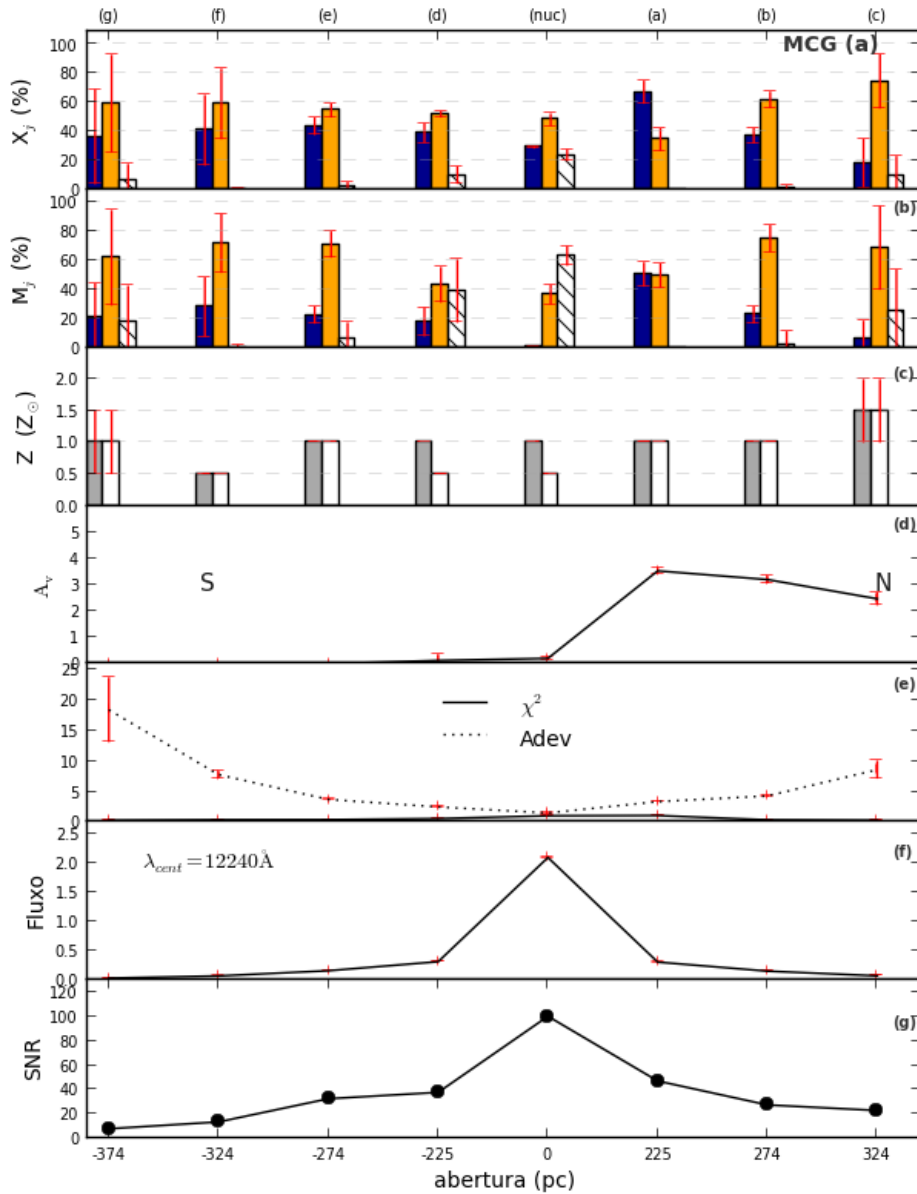


Figura 11: Análise global de MCG-5-13-17. Os painéis (a) e (b) são as distribuições de populações estelares por abertura, pesadas em luminosidade e massa, respectivamente. Azul são populações jovens, laranja são intermediárias, e as vazadas são velhas. O painel (c) é a distribuição de metalicidades pesadas em fluxo (cinza) e massa (branco). O painel (d) é o avermelhamento  $A_v$ . S e N indicam as direções sul e norte, respectivamente. O painel (e) é o Adev e  $\chi^2$ , (f) o perfil do contínuo em  $\lambda_{cent} = 12240\text{\AA}$ , e (g) é o SNR.

## 4.2 MRK 1066

A partir dos histogramas das populações estelares pesadas em fluxo e massa, painéis (a) e (b) da figura 13, pode-se ver uma predominância de populações de idade intermediária. Na abertura nuclear e nas duas extra-nucleares mais próximas do núcleo, encontra-se uma divisão de aproximadamente 50% jovens e 50% intermediárias. Para aberturas mais externas, o valor da contribuição das populações intermediárias aumenta de 60% até 85%. O resultado é discrepante nas duas aberturas mais externas para sudeste, mas o  $\chi^2$ , visto no painel (e), para estes ajustes é alto, o que diminui a confiança do ajuste. As metalicidades em (c) indicam metalicidades solares perto do núcleo e uma metalicidade 1.5 maior que a Solar em aberturas mais externas. O avermelhamento contido no painel (d) indica que esse está presente ao longo da galáxia, com valores  $A_v < 2.0$  na região sudeste,  $A_v = 1.5$  na abertura nuclear e valores entre 2.0 e 2.5 na região noroeste. A contribuição do FC encontrada pode ser vista no painel inferior esquerdo da Figura 58 e é aproximadamente de  $\approx 20\%$ . As componentes de poeira quente não foram detectadas.

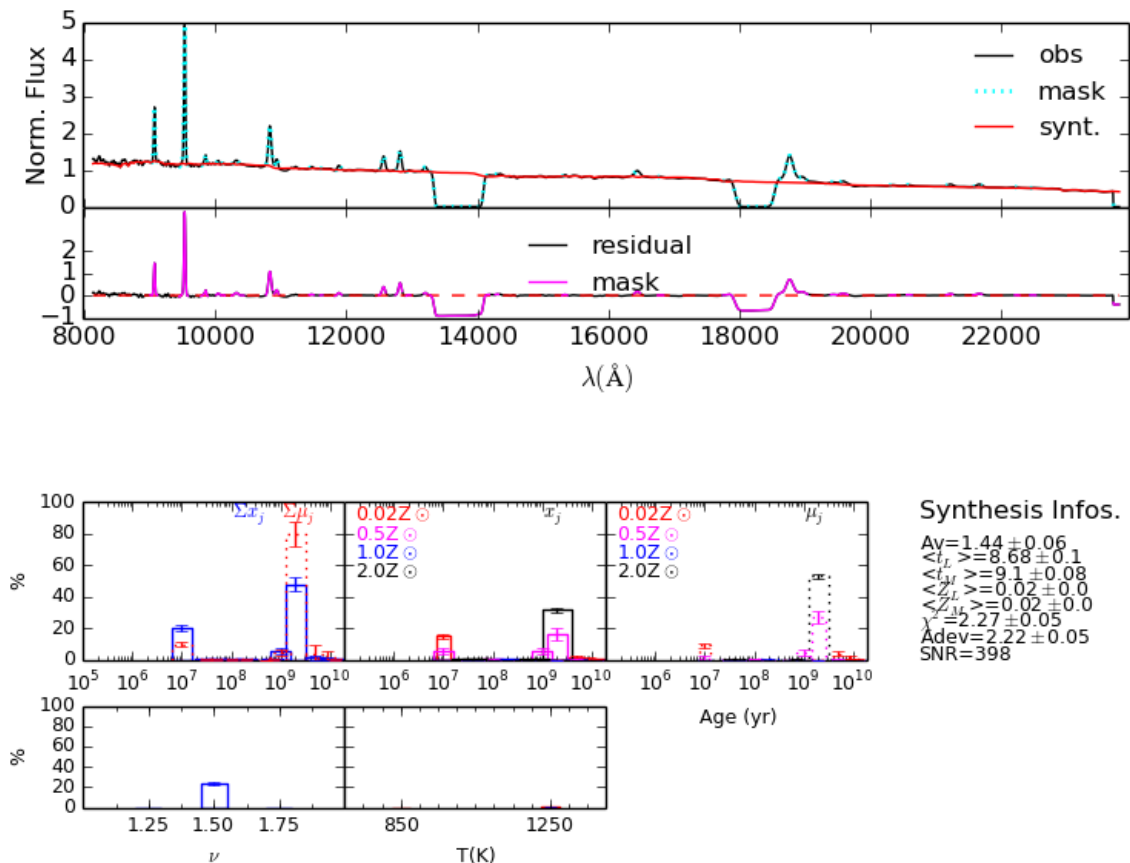


Figura 12: Mesmo que Figura 10, mas para MRK 1066.

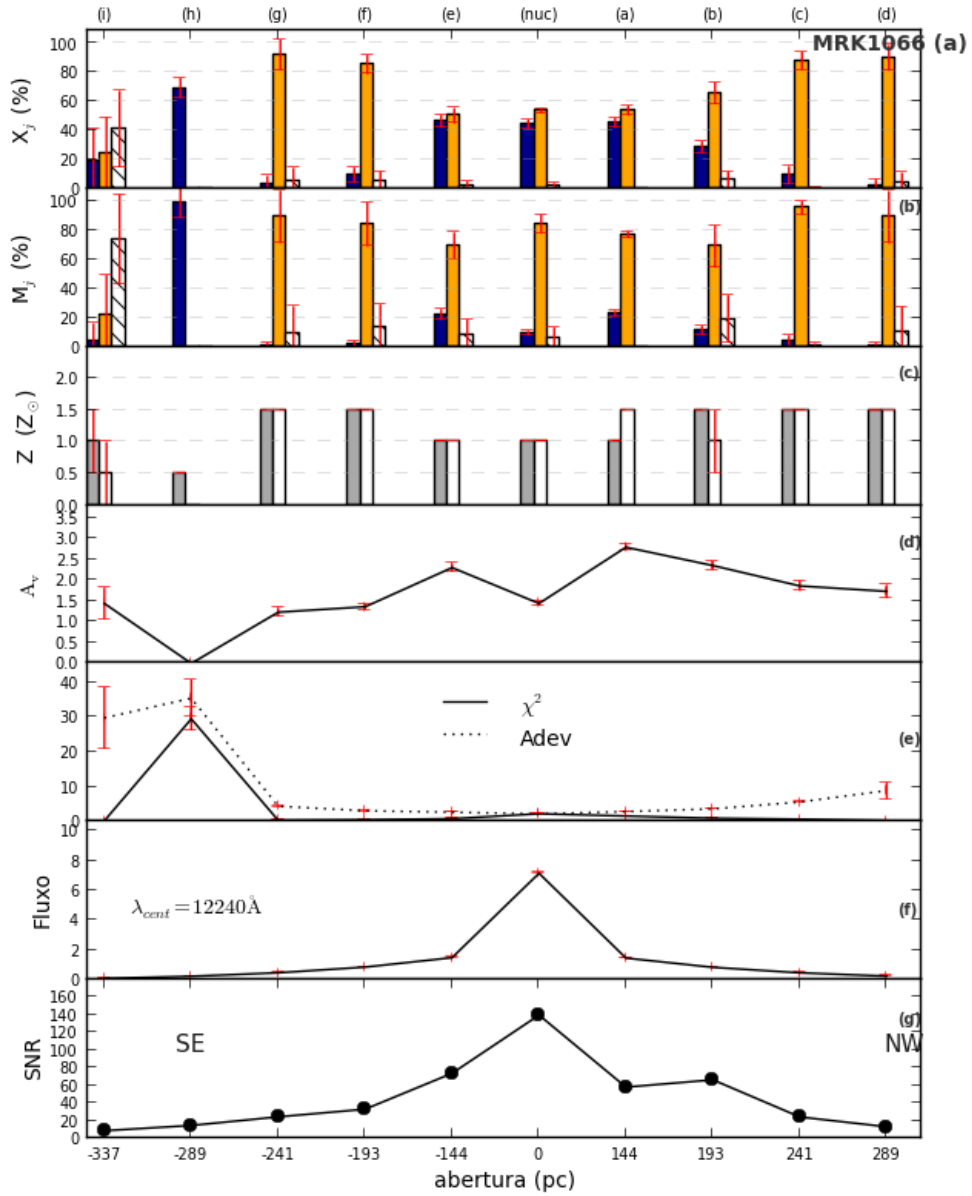


Figura 13: Mesmo que Figura 11, mas para MRK 1066. Direções sudeste (SE) e noroeste (NW) estão indicadas.

### 4.3 MRK 993

Na galáxia MRK 993, encontra-se uma predominância de populações velhas. No painel (a) da Figura 15, a contribuição pesada em fluxo das populações velhas vai de 40% até 70%. A fração de populações jovens é quase desprezível, mas a de populações intermediárias é significativa, indo de 20% até 60%. A contribuição das populações estelares velhas pesada em massa, como vista no painel (b) é bem maior, 60% até quase 95%. A metalicidade é 0.5 menor que a Solar na abertura nuclear e nas duas aberturas mais externas na região sul, mas é aproximadamente igual à Solar no restante das aberturas. O avermelhamento é aproximadamente  $A_v = 1$  nas extrações mais internas e aumenta para  $\approx 1.4$  nas duas mais externas. A componente FC vista na Figura 14 é de apenas 5%. Sem detecção de componentes de corpo negro do toroide de poeira.

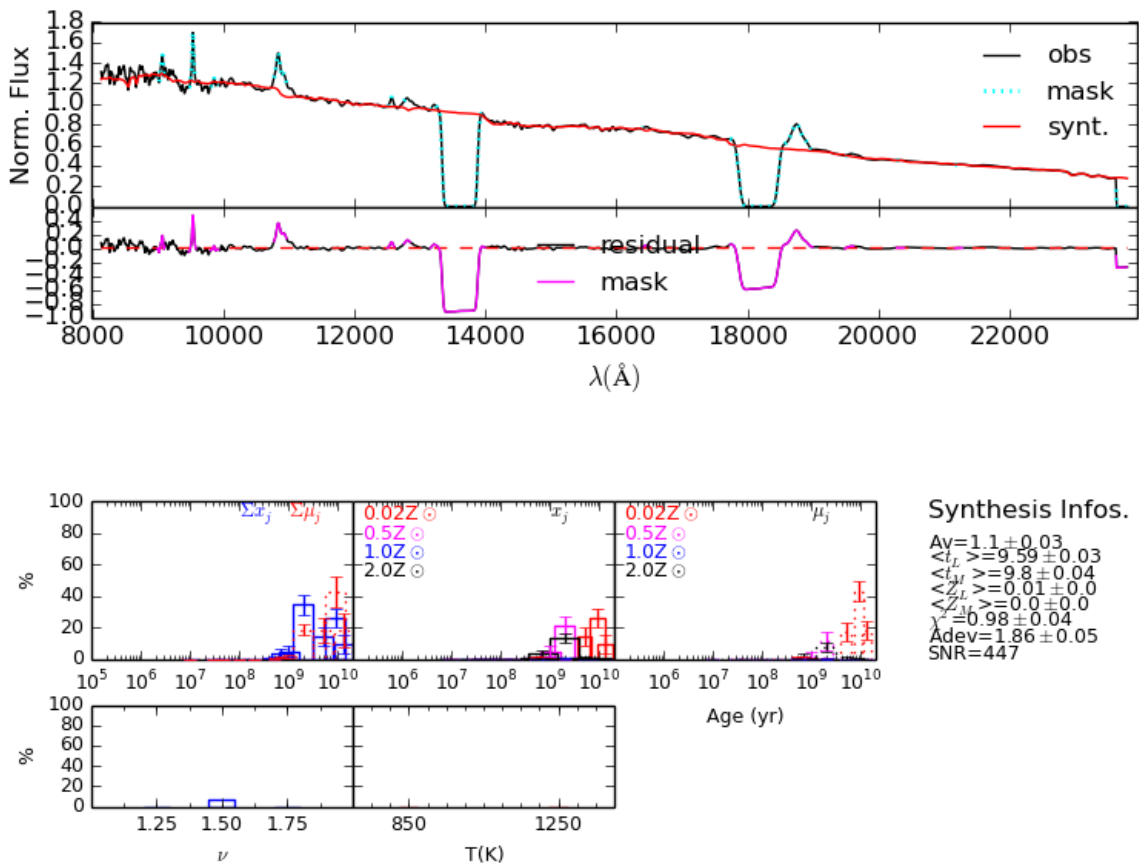


Figura 14: Mesmo que Figura 10, mas para MRK 993.

### 4.4 NGC 2110

No caso de NGC 2110, como visto na Figura 17, populações jovens só foram encontradas na abertura nuclear e nas duas aberturas extra-nucleares mais internas na direção sudeste e noroeste. No núcleo e na abertura 'a', há predominância de populações

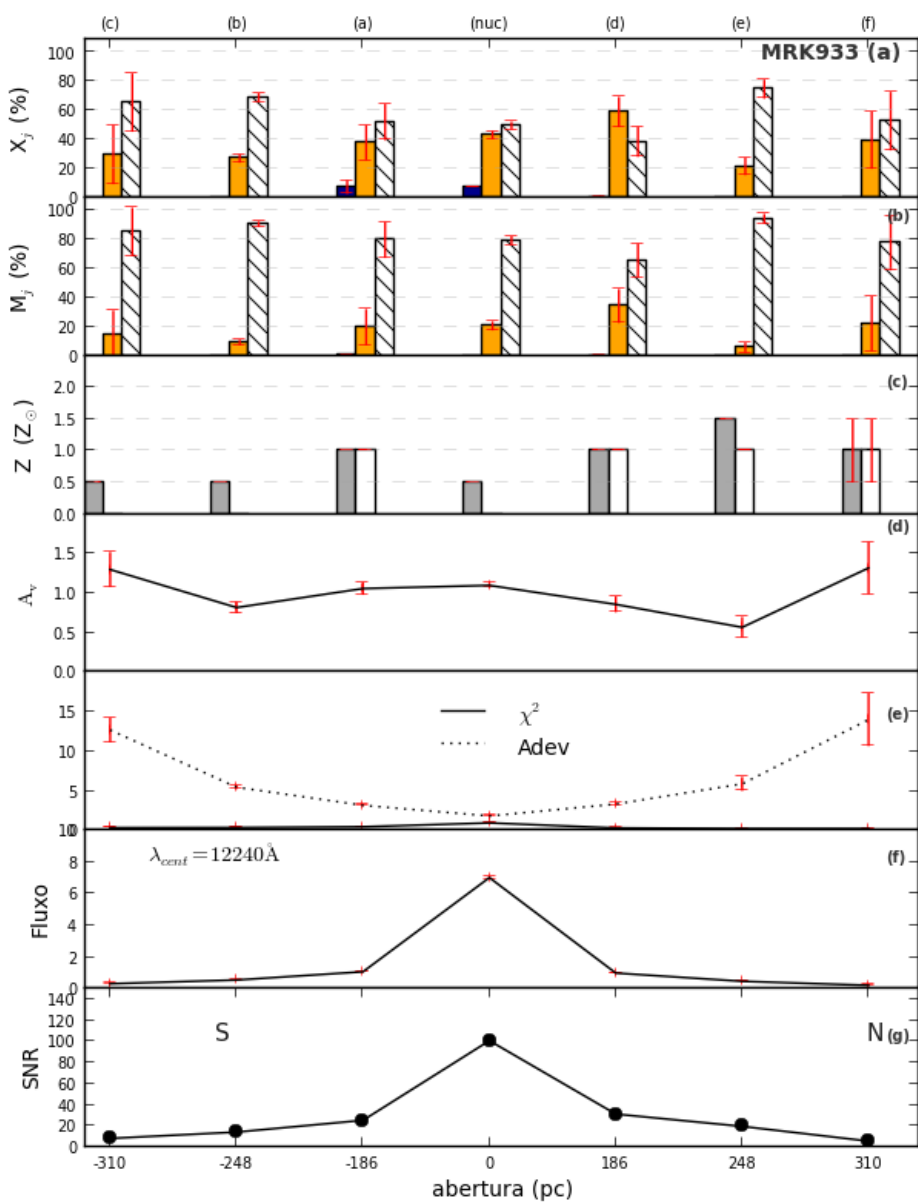


Figura 15: Mesmo que Figura 11, mas para MRK 993.

jovens em torno de 60%, enquanto que nas aberturas um pouco mais externas a contribuição cai para em torno de 30%. A contribuição de populações de idade intermediária se mantém aproximadamente constante ao longo de todas as extrações, com  $\approx 40\%$ . Se contrapondo às populações jovens, as populações velhas não se encontram nas aberturas mais internas, mas passam a dominar nas extrações mais externas, a partir de  $\approx 200\text{pc}$  do núcleo. A metalicidade é aproximadamente Solar, exceto na abertura nuclear, em que é igual a 1.5 vez a Solar. O avermelhamento é duas vezes maior na região sudeste ( $A_v = 2.0$ ) do que na região noroeste ( $A_v = 1.0$ ). Na Figura 16 pode-se ver que a contribuição FC do disco de acreção é de 50%. Componentes de poeira quente não foram encontrados.

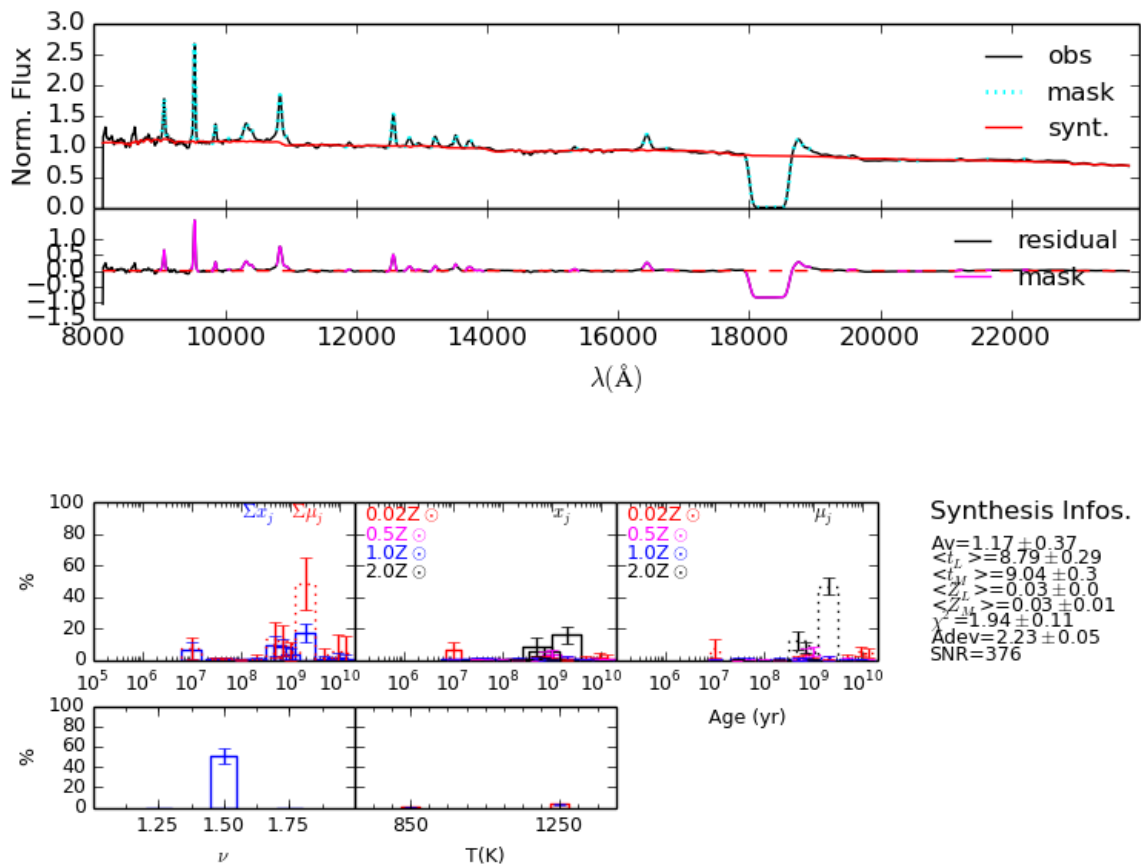


Figura 16: Mesmo que Figura 10, mas para NGC 2110.

## 4.5 NGC 5728

Ao observar as populações estelares de NGC 5728 no painel (a) da Figura 19, percebe-se uma assimetria em relação ao núcleo. Na região sudeste, domina as populações estelares velhas, com contribuições que vão desde 60% até 90% e uma presença quase nula de populações de idades intermediárias ou jovens. Por outro lado, na região noroeste, as contribuições são um pouco mais balanceadas, com a maioria da contribuição sendo de populações velhas em algumas extrações e de populações jovens em outras. No núcleo,

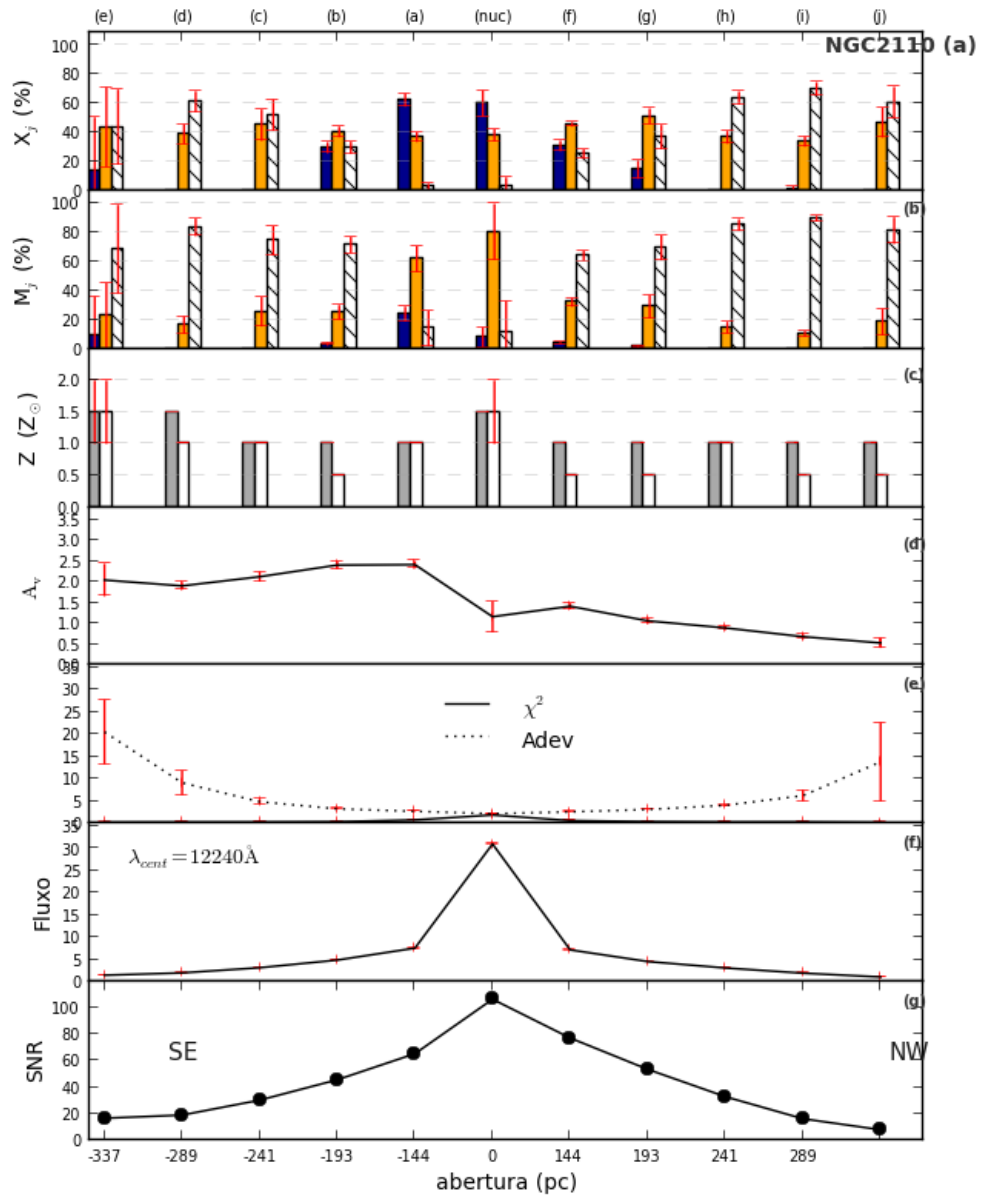


Figura 17: Mesmo que Figura 11, mas para NGC 2110.



existe uma fração de 40% de jovens, 30% de velhas e 20% de intermediárias. No painel (b), com as contribuições pesadas em massa, as populações estelares velhas dominam ao longo de todas as aberturas, de 50% até quase 100%. As metalicidades estão entre 1.0 e 1.5 vez a metalicidade Solar, ao longo de todas as aberturas, exceto uma, em que a metalicidade é menor, com 0.5 a da Solar. O avermelhamento tem seu pico na abertura nuclear, com o valor de aproximadamente  $A_v = 2.5$ . Para os dois lados, o avermelhamento cai, mas na região sudeste se mantém acima de  $A_v = 1.0$ , enquanto que para a região noroeste são sempre valores menores do que  $A_v = 1.0$ . O componente FC do disco de acreção não foi encontrado, assim como componentes de corpo negro do toroide de poeira.

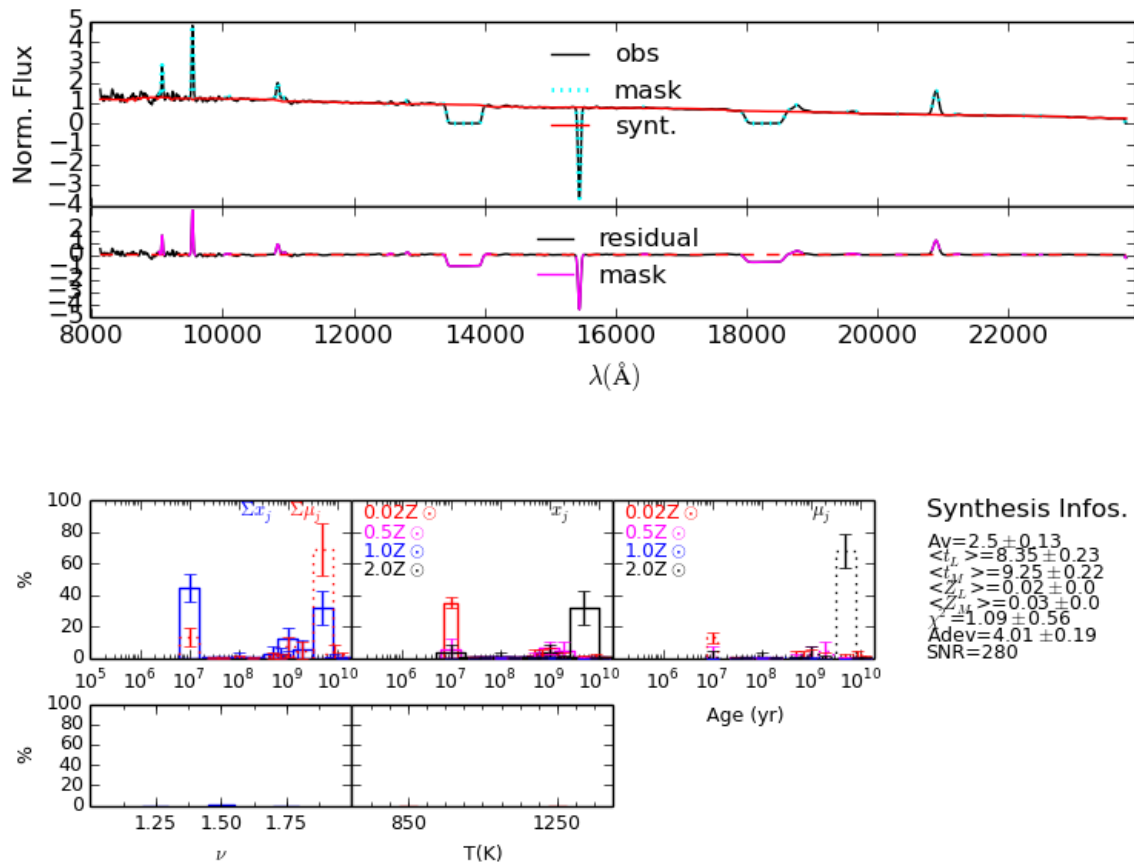


Figura 18: Mesmo que Figura 10, mas para NGC 5728.

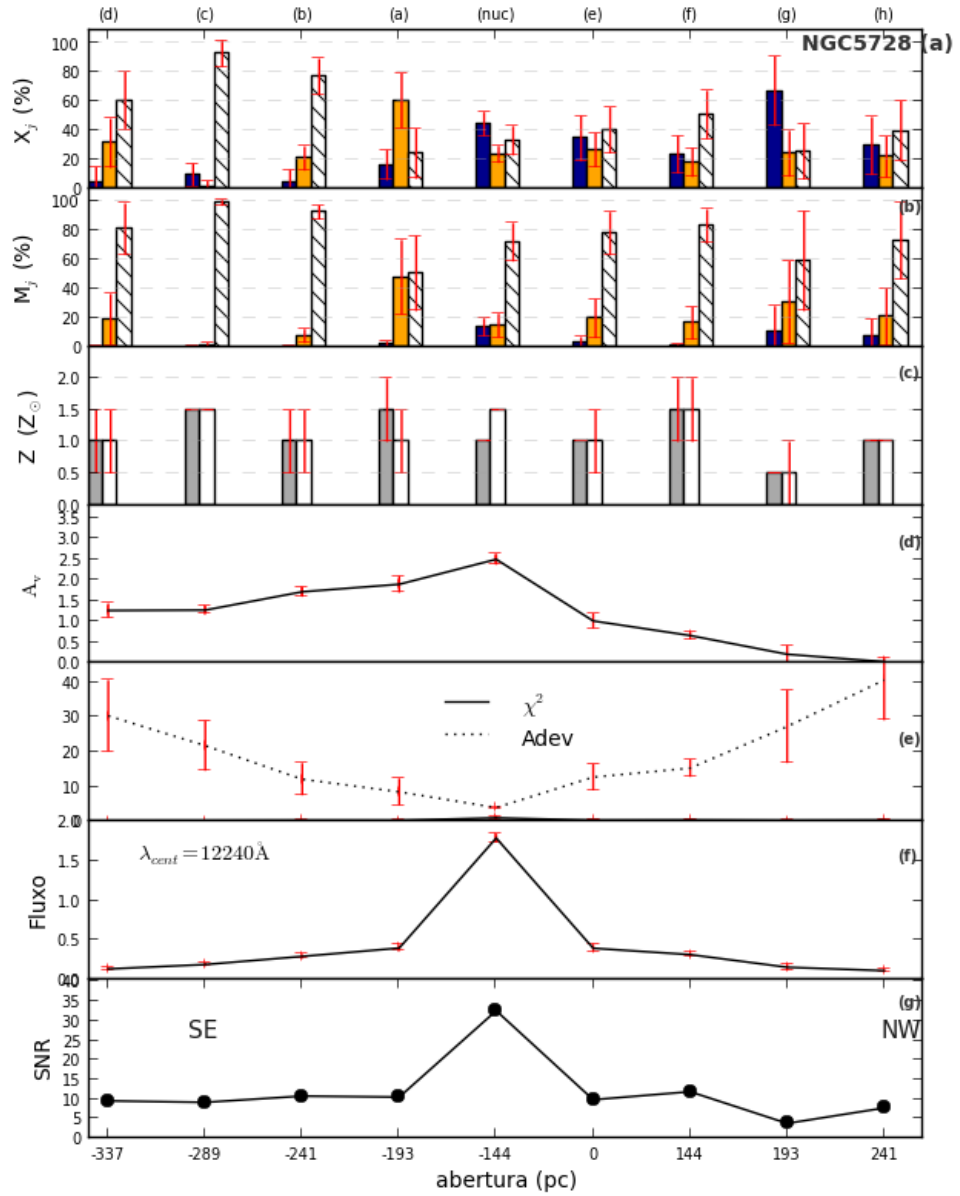


Figura 19: Mesmo que Figura 11, mas para NGC 5728.

## Conclusão e perspectivas

Foram determinadas as populações estelares na região de emissão nuclear e estendida de cinco AGNs do universo local. Na abertura nuclear, duas galáxias possuem população jovem dominante, duas possuem população intermediária dominante e apenas uma possui predominância de população velha, mas com presença de 40% de população intermediária. Na emissão estendida, a fração de populações estelares jovens e intermediárias tende a aumentar em relação às velhas ainda mais do que no núcleo. Dessa forma, a presença significativa de populações jovens e intermediárias na região nuclear dos cinco AGNs da amostra servem de evidência de que existe uma relação entre a formação estelar circumnuclear e o processo de acreção de matéria pelo AGN.

O próximo passo deste trabalho é realizar a síntese de população estelar no NIR para o restante das galáxias disponíveis na amostra maior de 24 AGNs presentes no atlas de Riffel et al. 2006. Com uma amostra mais significativa, será possível fazer uma análise que visa entender propriedades mais gerais, que se apliquem a todos os AGNs.

# Referências

- [1] Active galactic nuclei. <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/images/epo/gallery/agns/>. Acessado: 2016-11-13. Citado na página 7.
- [2] R. Cid Fernandes, A. Mateus, L. Sodré, G. Stasińska, and J. M. Gomes. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - I. Spectral synthesis method. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 358:363–378, April 2005. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 17.
- [3] L. Ciotti, J. P. Ostriker, and D. Proga. Feedback from Central Black Holes in Elliptical Galaxies. III. Models with Both Radiative and Mechanical Feedback. *The Astrophysical Journal*, 717:708–723, July 2010. Citado na página 8.
- [4] R. I. Davies, W. Maciejewski, E. K. S. Hicks, L. J. Tacconi, R. Genzel, and H. Engel. Stellar and Molecular Gas Kinematics Of NGC 1097: Inflow Driven by a Nuclear Spiral. *The Astrophysical Journal*, 702:114–128, September 2009. Citado na página 8.
- [5] R. I. Davies, F. Müller Sánchez, R. Genzel, L. J. Tacconi, E. K. S. Hicks, S. Friedrich, and A. Sternberg. A Close Look at Star Formation around Active Galactic Nuclei. *The Astrophysical Journal*, 671:1388–1412, December 2007. Citado na página 8.
- [6] M. Elvis. A Structure for Quasars. *The Astrophysical Journal*, 545:63–76, December 2000. Citado na página 8.
- [7] J. Frank, A. King, and D. J. Raine. *Accretion Power in Astrophysics: Third Edition*. January 2002. Citado na página 8.
- [8] T. M. Heckman and P. N. Best. The Coevolution of Galaxies and Supermassive Black Holes: Insights from Surveys of the Contemporary Universe. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 52:589–660, August 2014. Citado na página 8.
- [9] G. Kauffmann, T. M. Heckman, C. Tremonti, J. Brinchmann, S. Charlot, S. D. M. White, S. E. Ridgway, J. Brinkmann, M. Fukugita, P. B. Hall, Ž. Ivezić, G. T. Richards, and D. P. Schneider. The host galaxies of active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 346:1055–1077, December 2003. Citado na página 8.
- [10] N. Kawakatu and K. Wada. Coevolution of Supermassive Black Holes and Circumnuclear Disks. *The Astrophysical Journal*, 681:73–83, July 2008. Citado na página 8.

- [11] J. Kormendy and L. C. Ho. Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51:511–653, August 2013. Citado na página 8.
- [12] C. Maraston. Evolutionary population synthesis: models, analysis of the ingredients and application to high- $z$  galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 362:799–825, September 2005. Citado na página 18.
- [13] A. Mateus, L. Sodré, R. Cid Fernandes, G. Stasińska, W. Schoenell, and J. M. Gomes. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - II. The bimodality of the galaxy population revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 370:721–737, August 2006. Citado na página 17.
- [14] R. Riffel, M. G. Pastoriza, A. Rodríguez-Ardila, and C. Bonatto. Probing the near-infrared stellar population of Seyfert galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 400:273–290, November 2009. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.
- [15] R. Riffel, A. Rodríguez-Ardila, and M. G. Pastoriza. A 0.8-2.4  $\mu\text{m}$  spectral atlas of active galactic nuclei. *Astronomy and Astrophysics*, 457:61–70, October 2006. Citado na página 11.
- [16] M. Sarzi, J. C. Shields, R. W. Pogge, and P. Martini. The Stellar Populations of Seyfert 2 Nuclei. In L. C. Ho and J.-W. Wang, editors, *The Central Engine of Active Galactic Nuclei*, volume 373 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 643, October 2007. Citado na página 8.
- [17] Peter Schneider. *Extragalactic Astronomy and Cosmology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.

# APÊNDICE A – Síntese de extrações extra-nucleares

## A.1 MCG-5-13-17

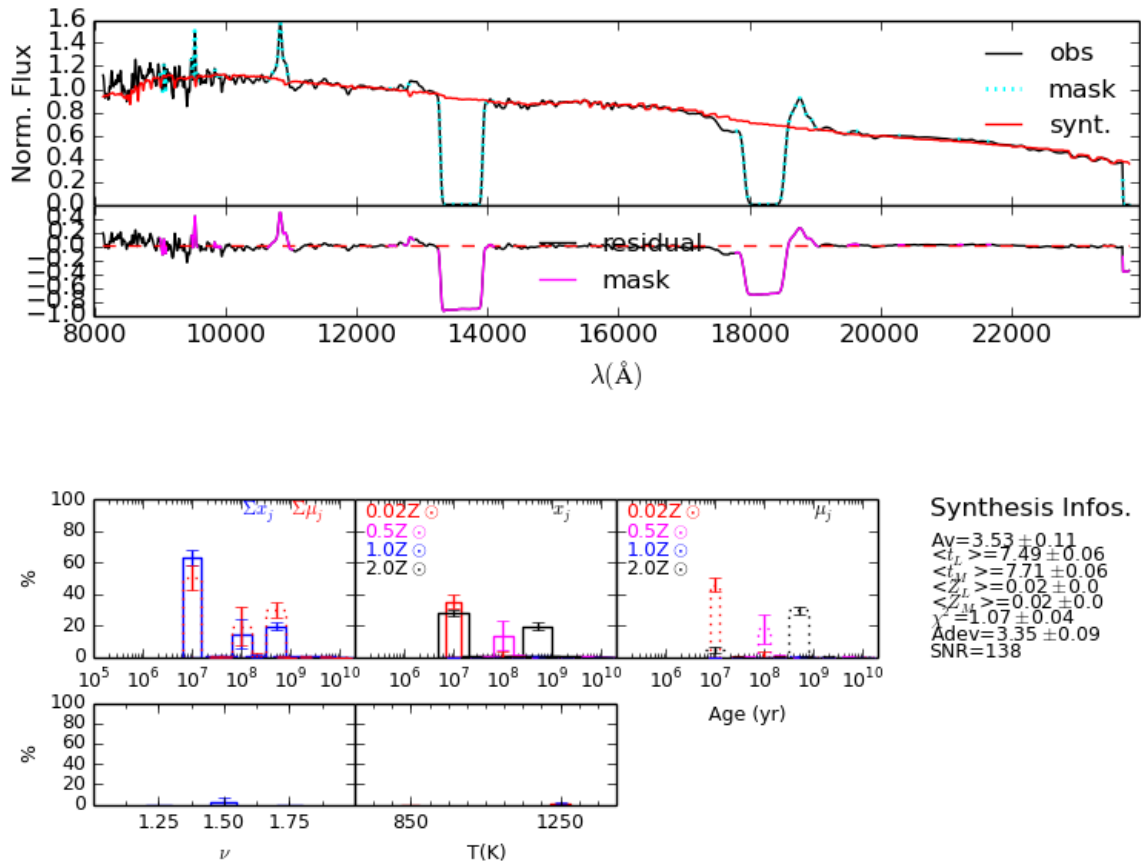


Figura 20: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'a' de MCG-5-13-17.

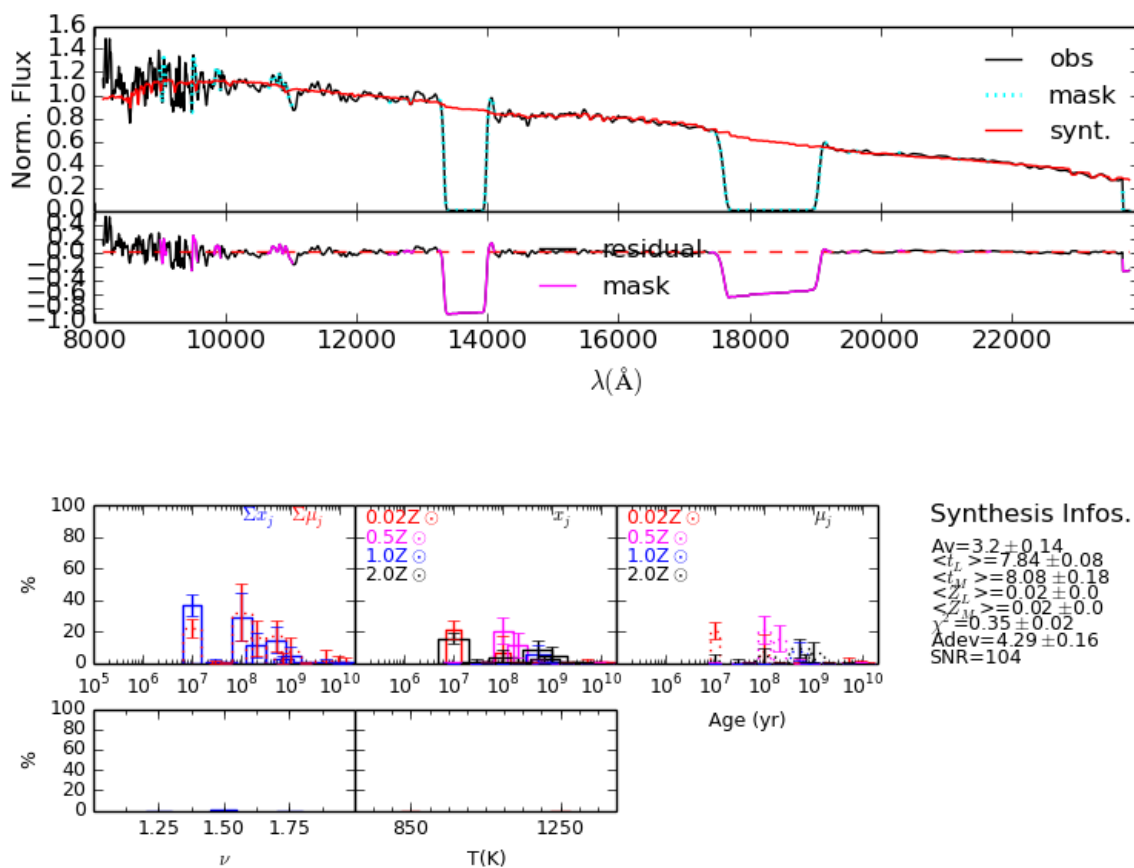


Figura 21: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'b' de MCG-5-13-17.

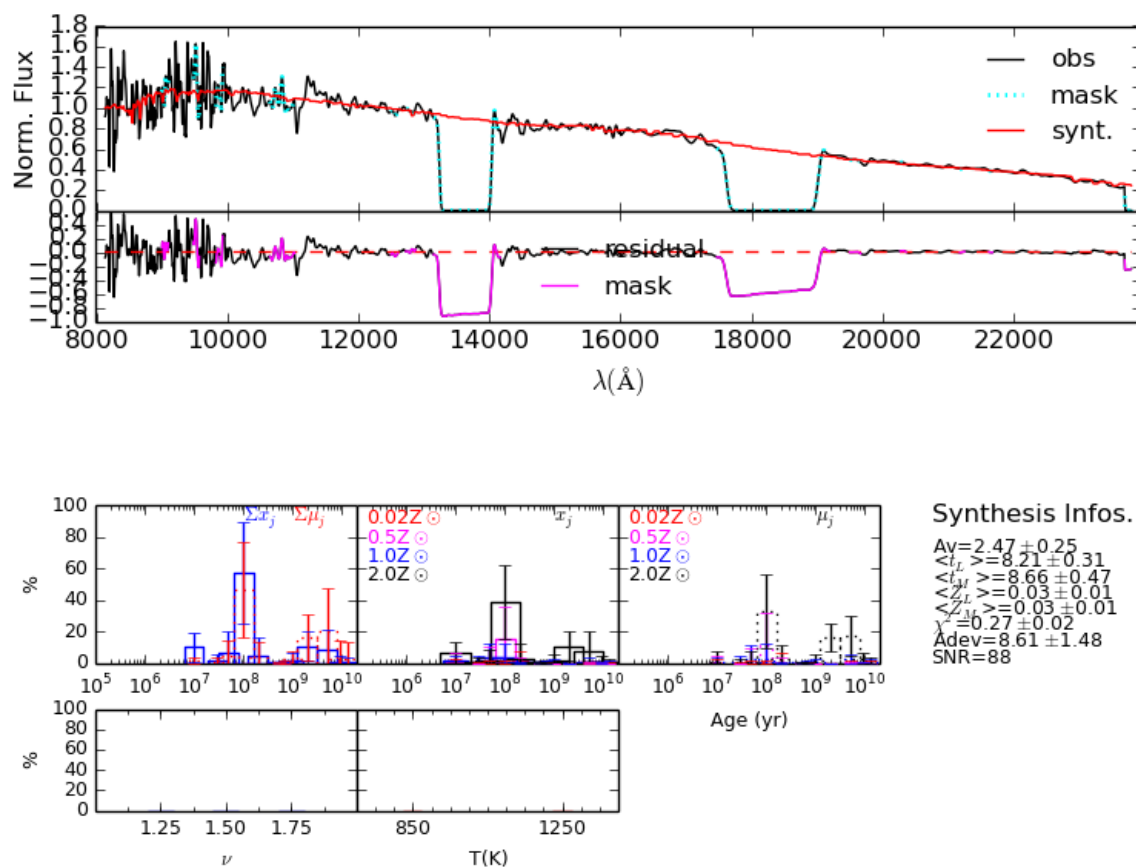


Figura 22: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'c' de MCG-5-13-17.



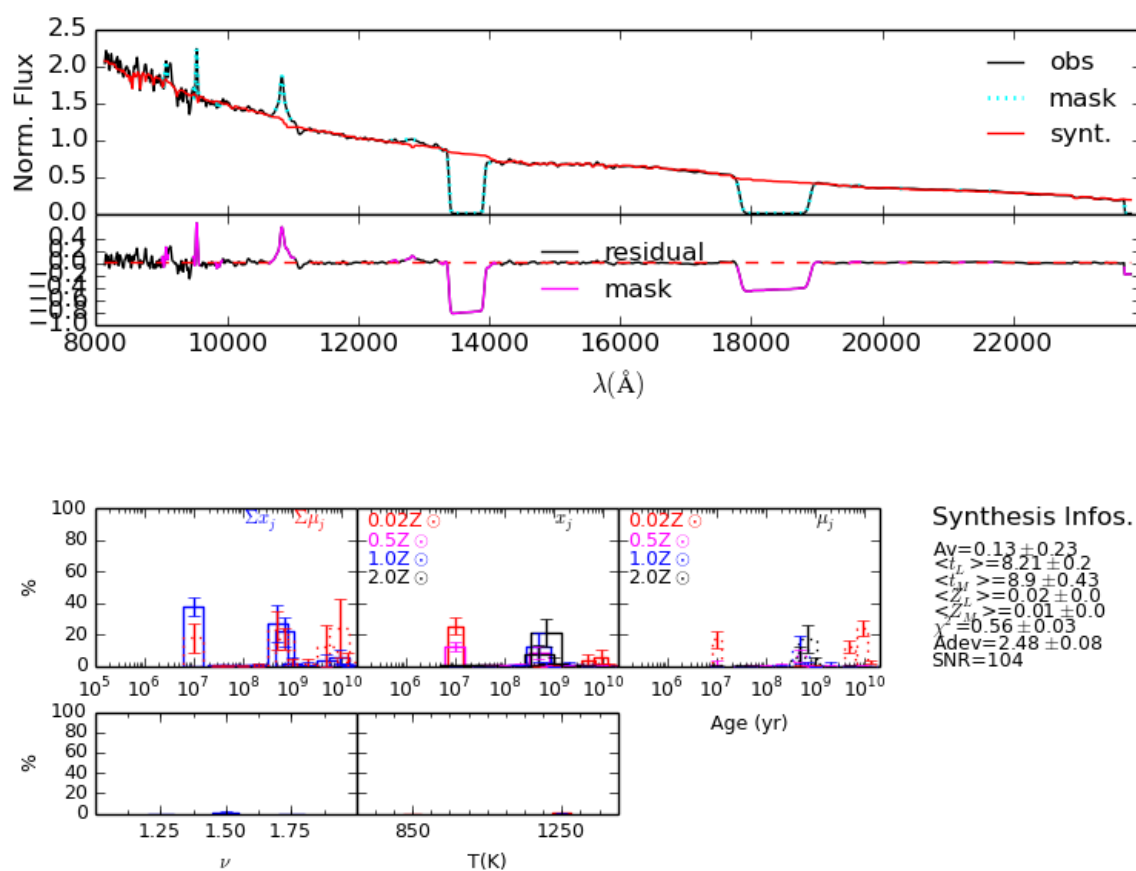


Figura 23: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'd' de MCG-5-13-17.

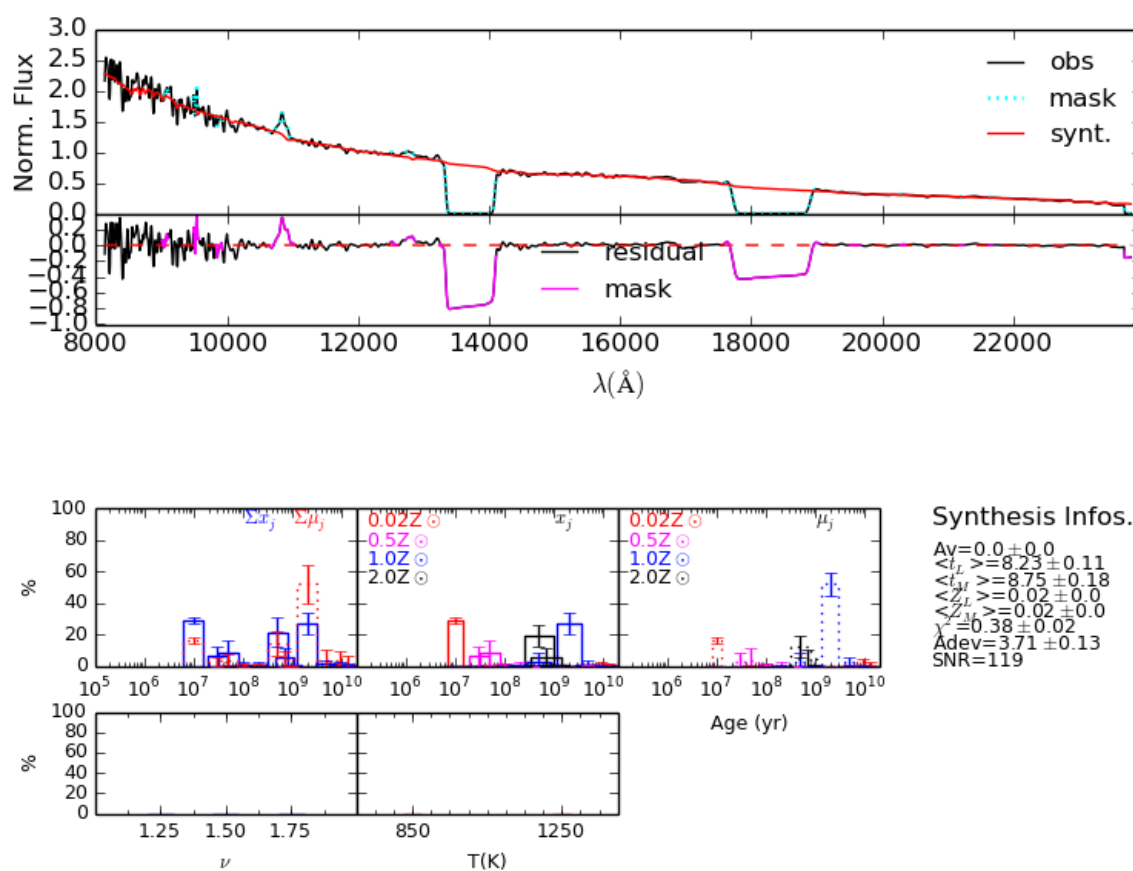


Figura 24: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'e' de MCG-5-13-17.

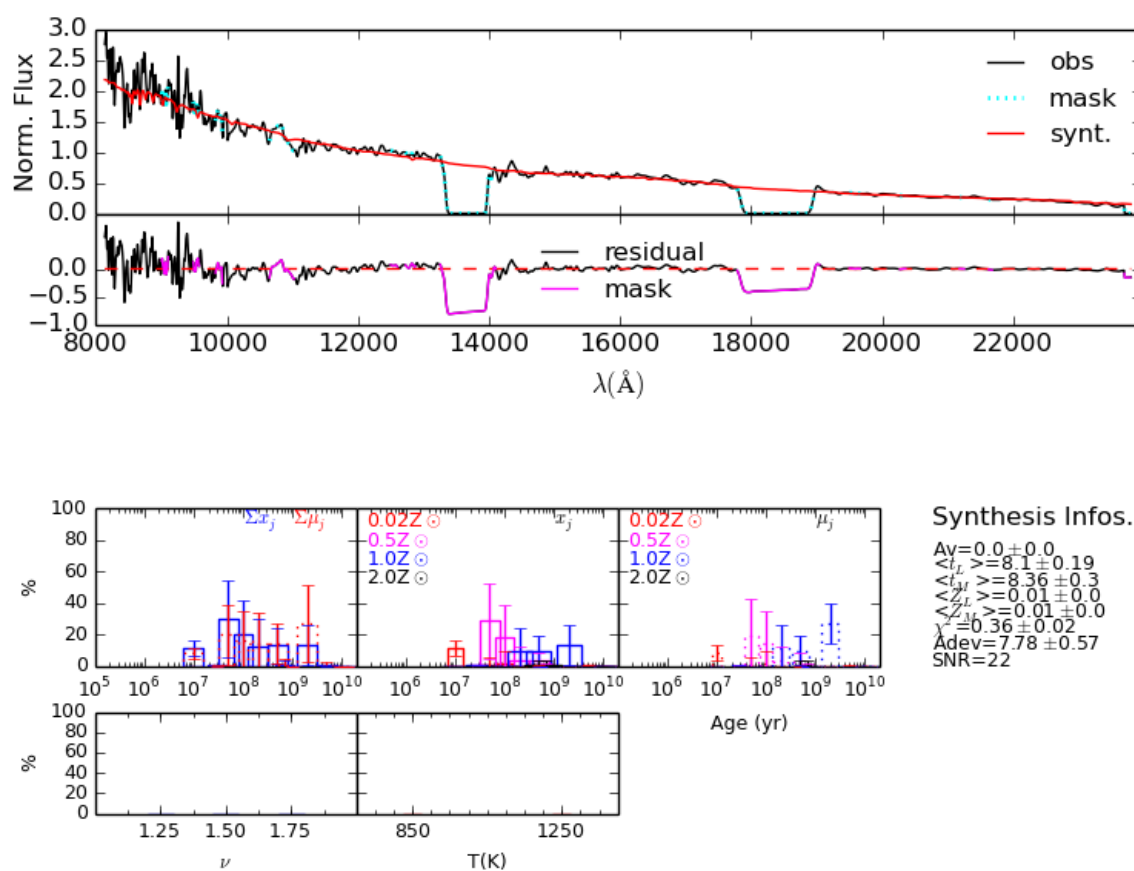


Figura 25: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'f' de MCG-5-13-17.

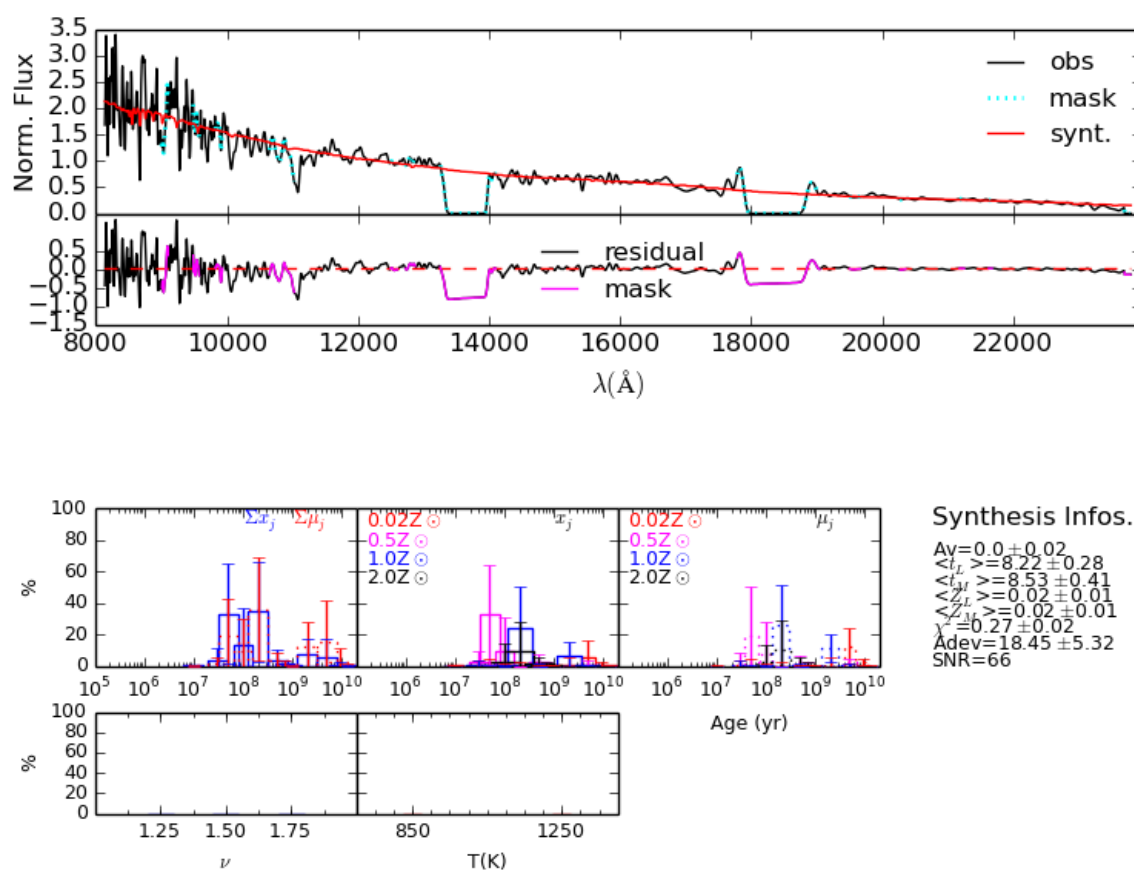


Figura 26: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'g' de MCG-5-13-17.

## A.2 MRK 1066

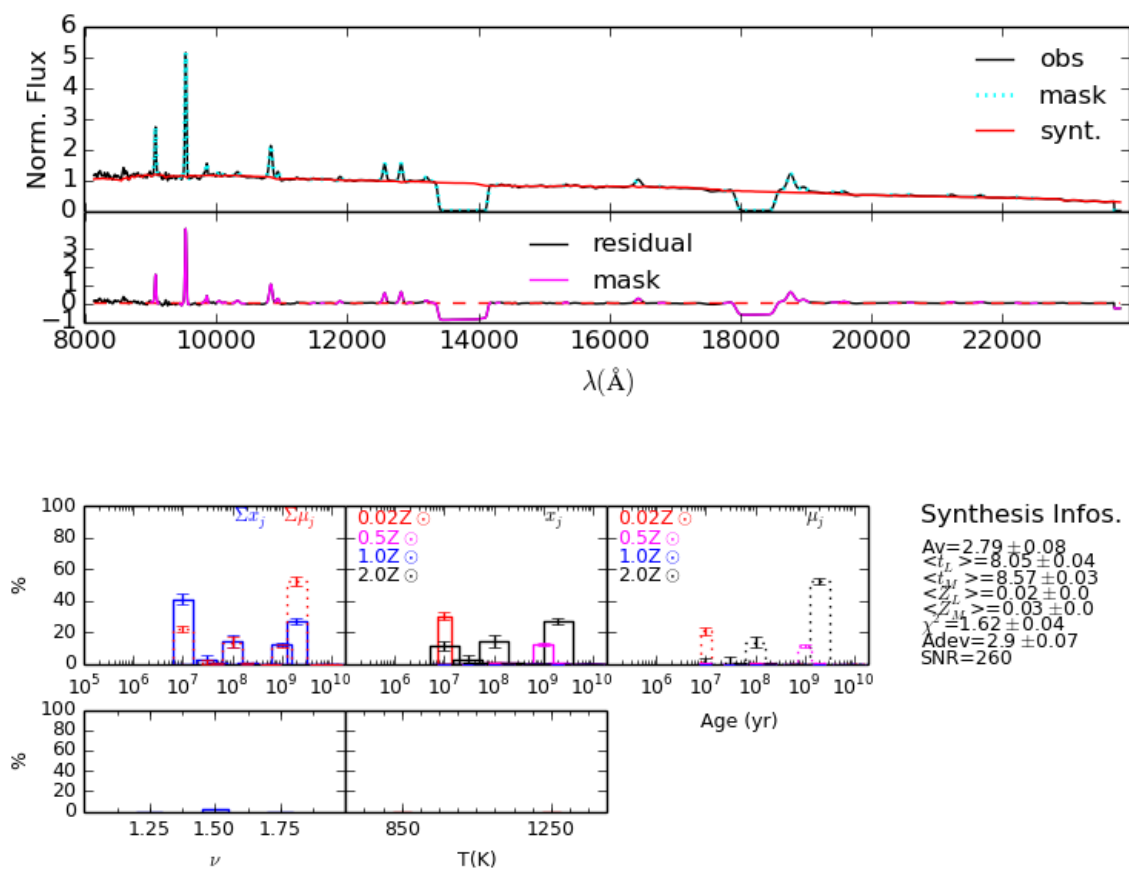


Figura 27: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'a' de MRK 1066.

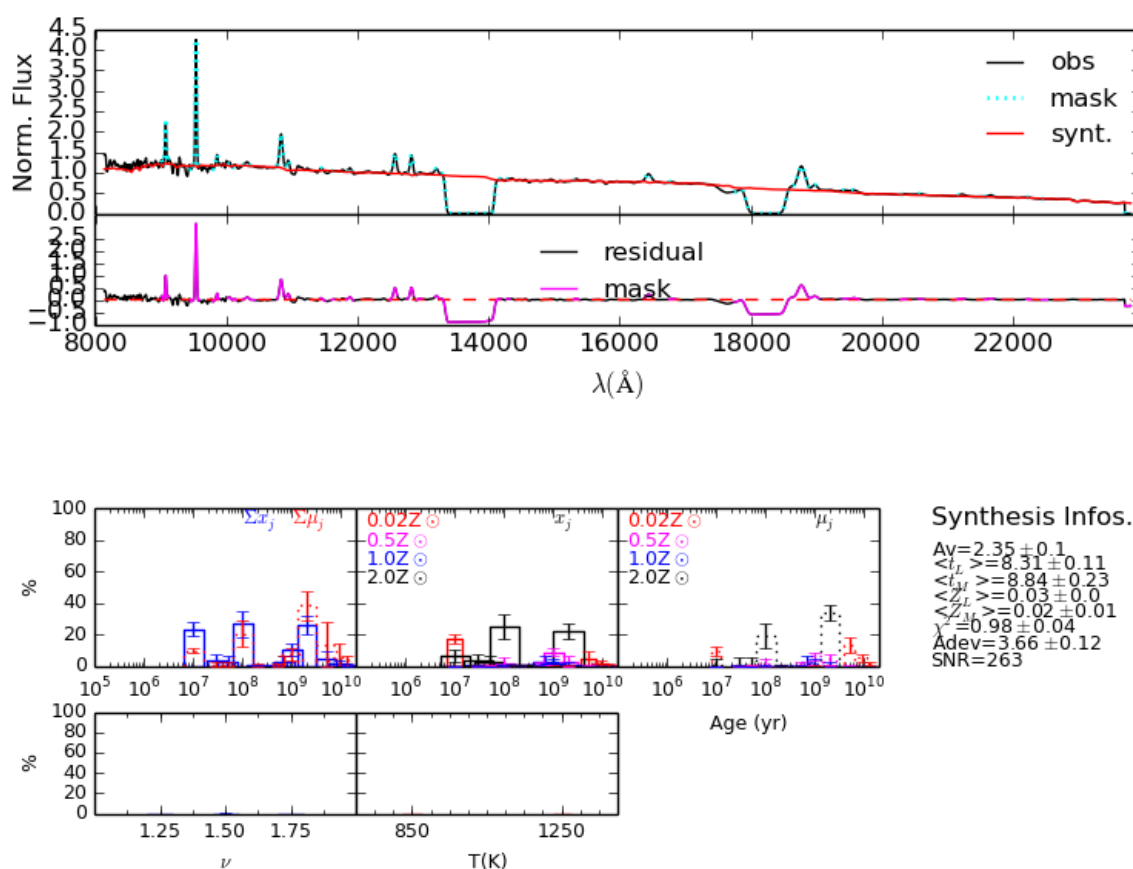


Figura 28: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'b' de MRK 1066.

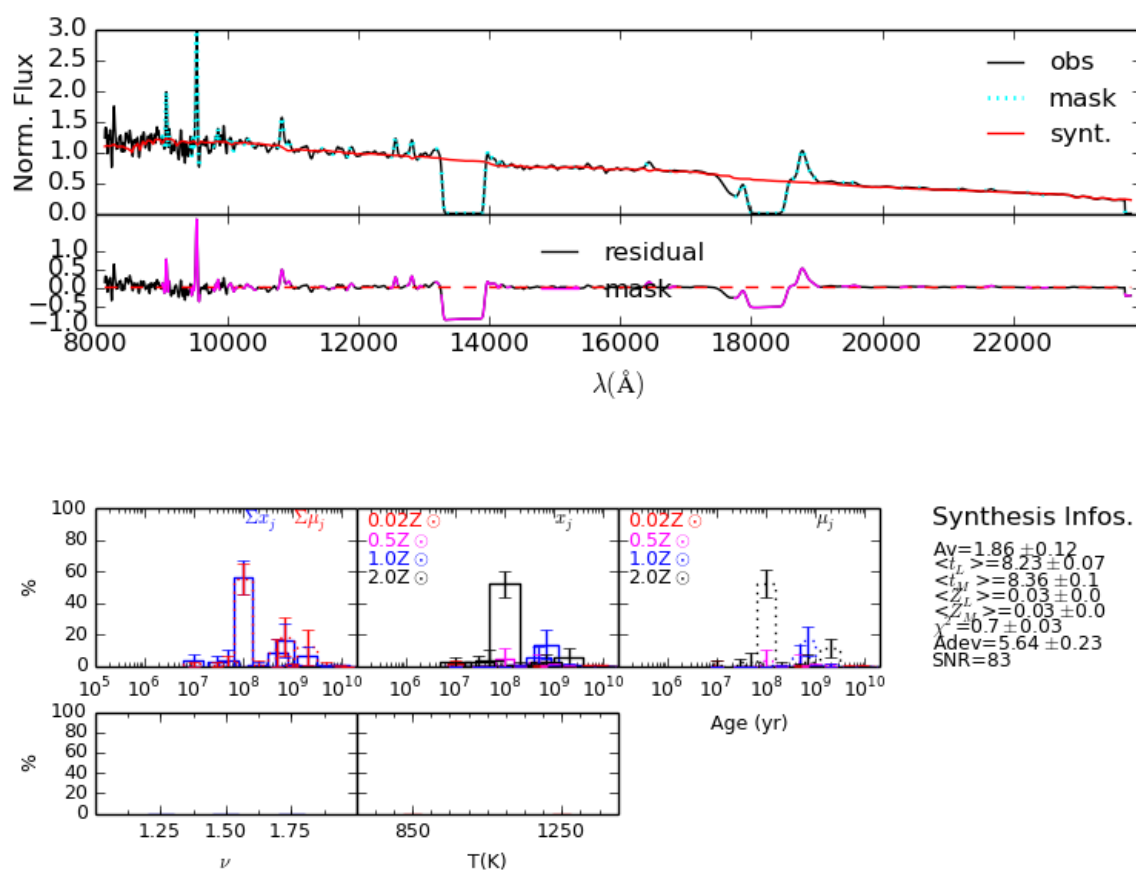


Figura 29: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'c' de MRK 1066.

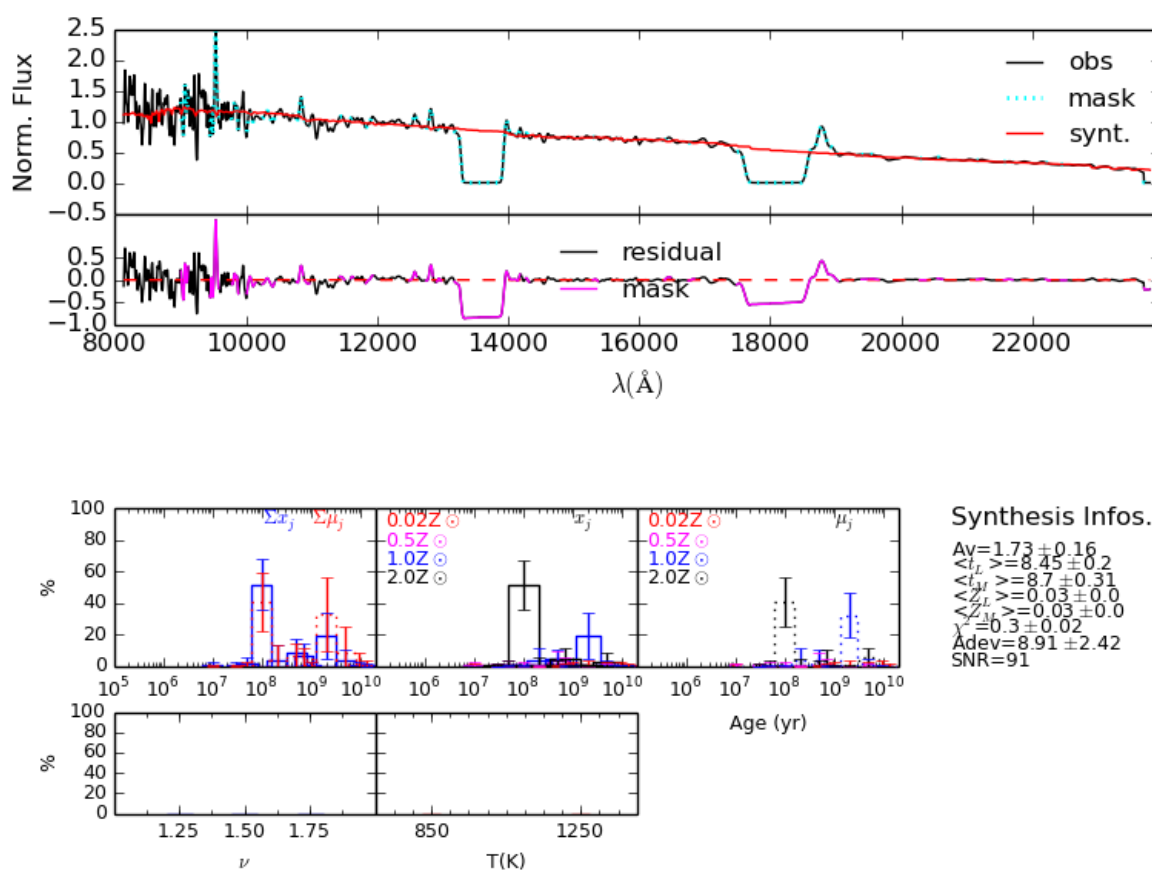


Figura 30: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'd' de MRK 1066.



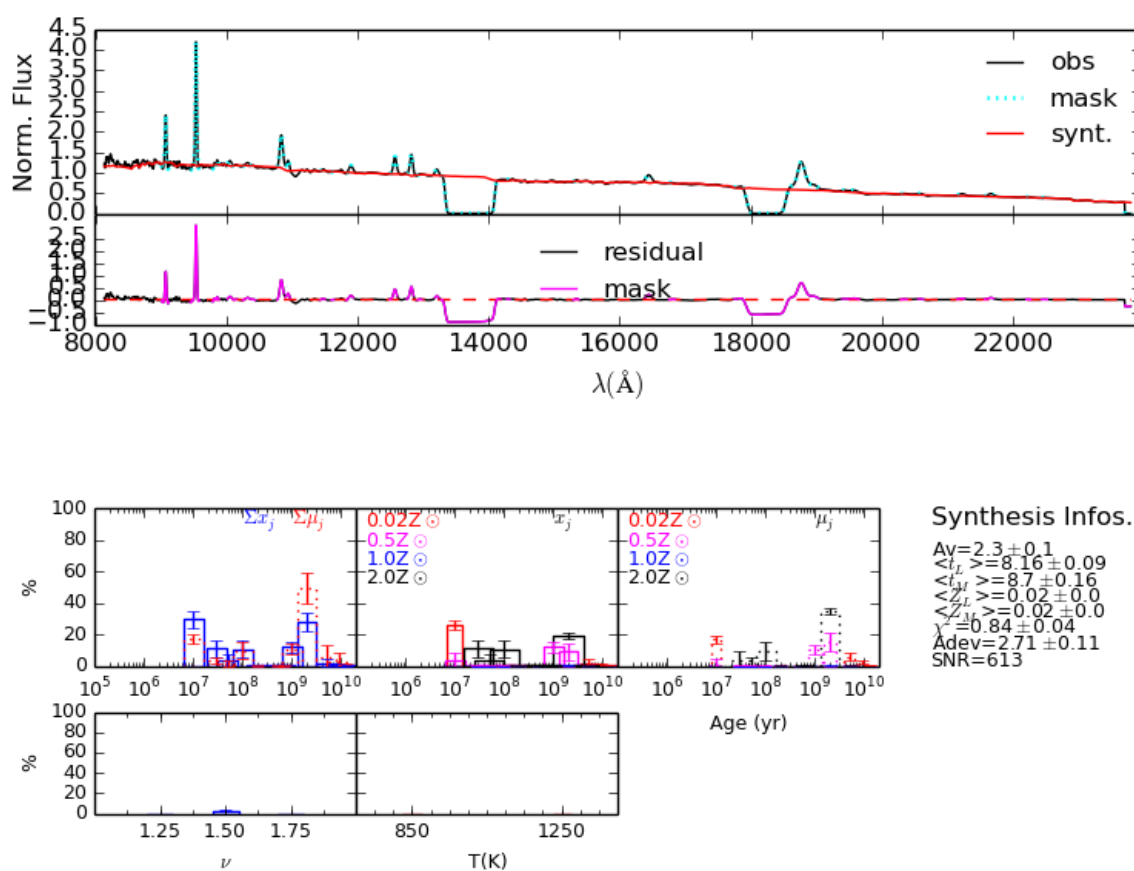


Figura 31: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'e' de MRK 1066.

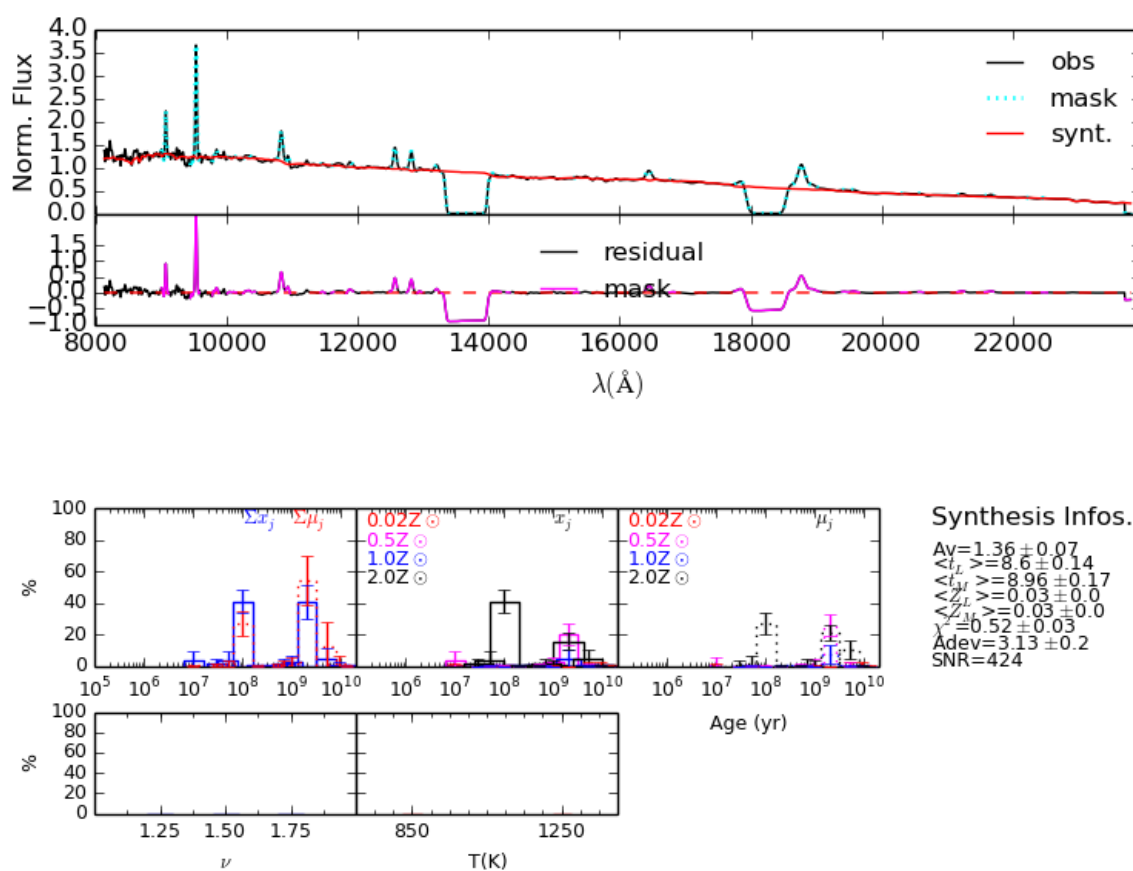


Figura 32: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'f' de MRK 1066.

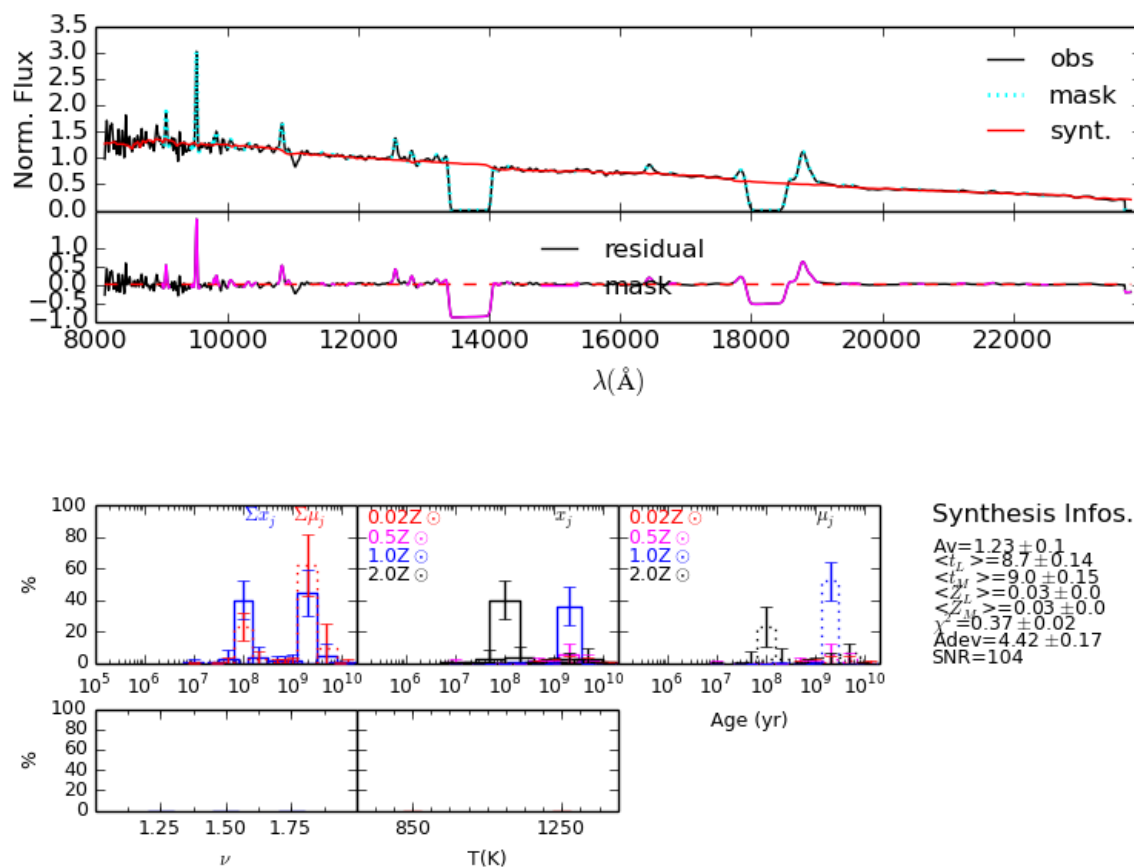


Figura 33: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'g' de MRK 1066.

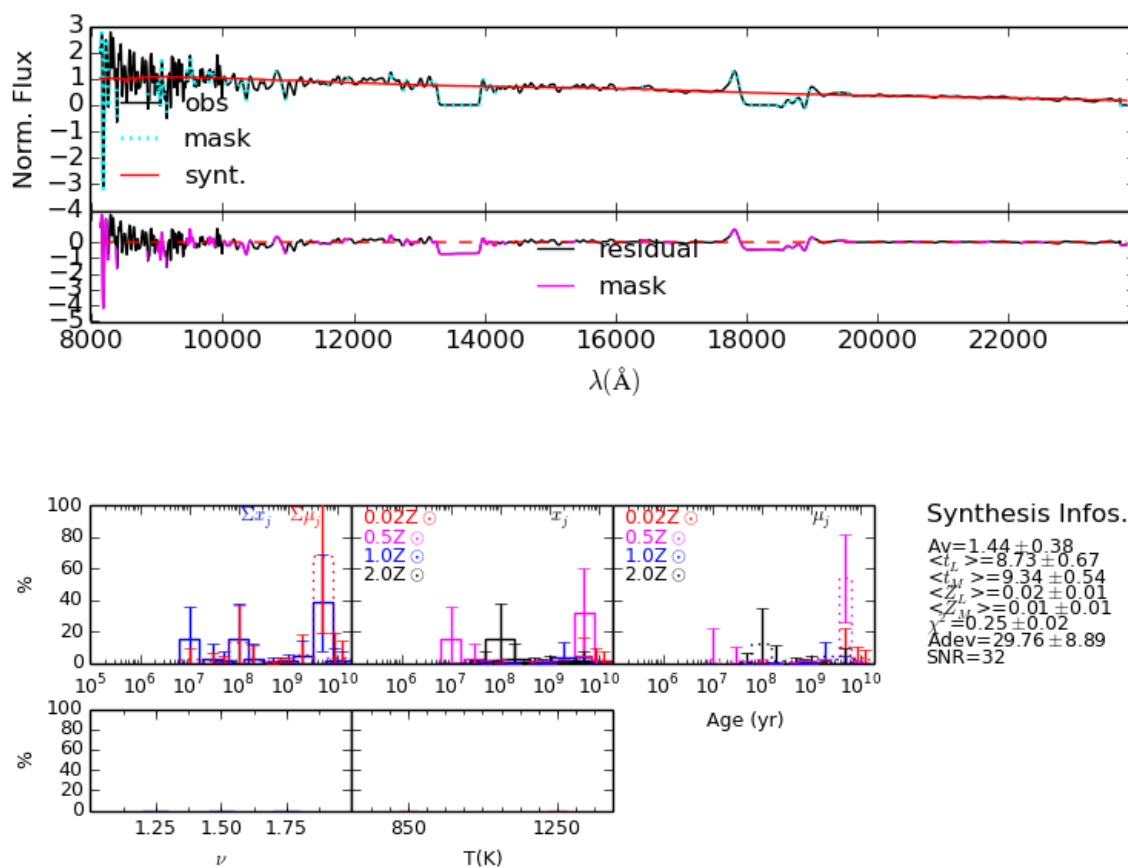


Figura 34: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'h' de MRK 1066.

### A.3 MRK 993

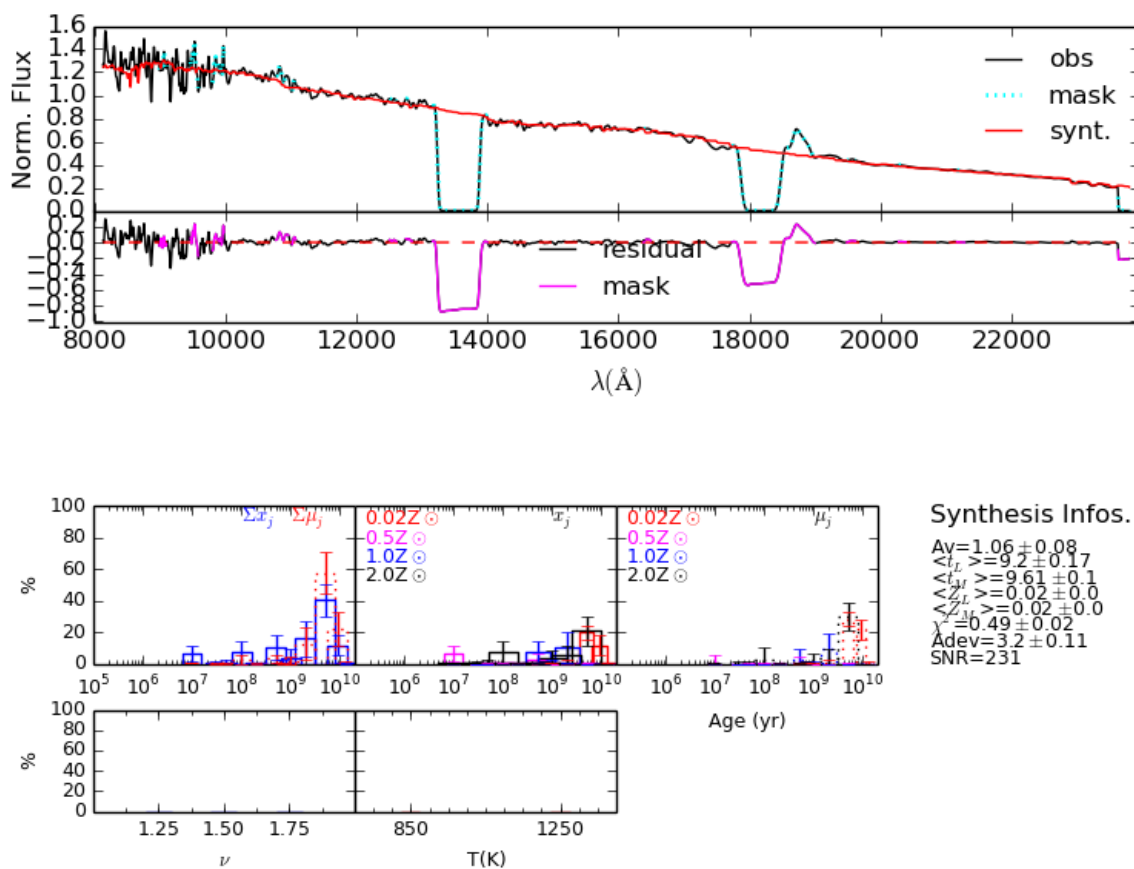


Figura 35: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'a' de MRK 993.

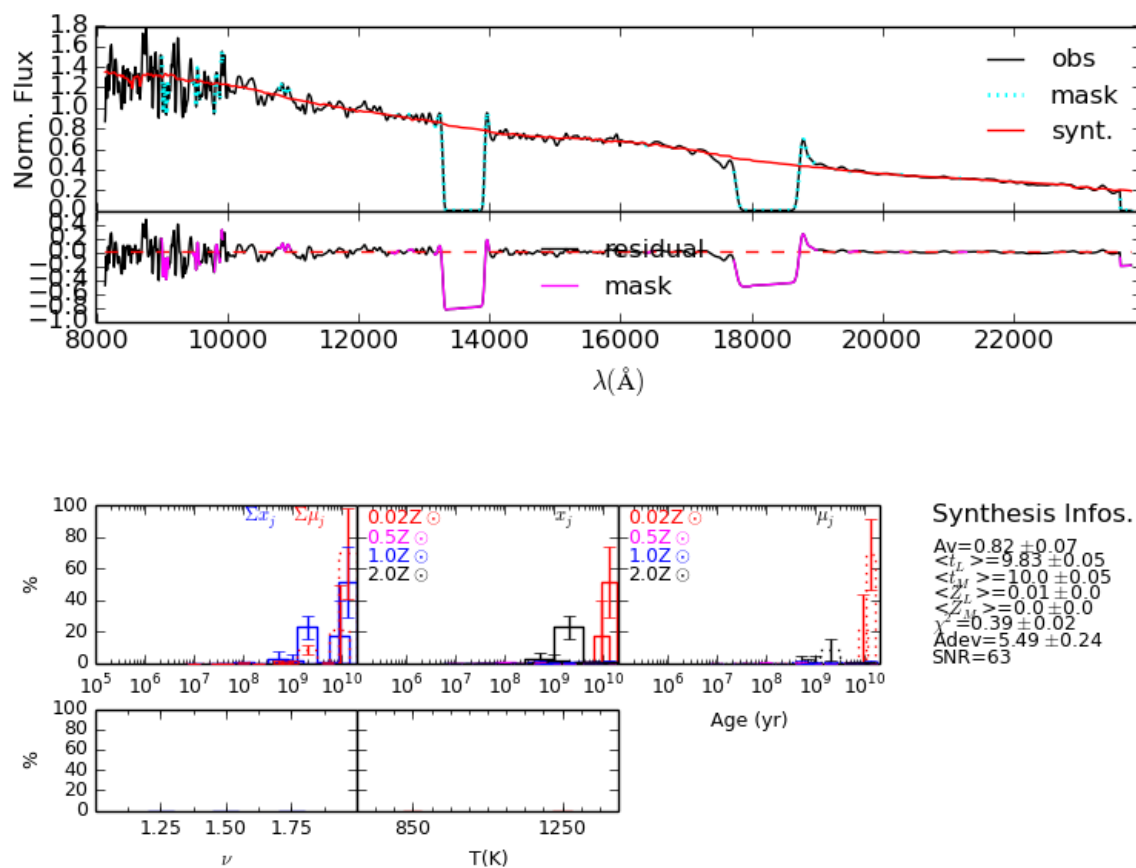


Figura 36: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'b' de MRK 993.

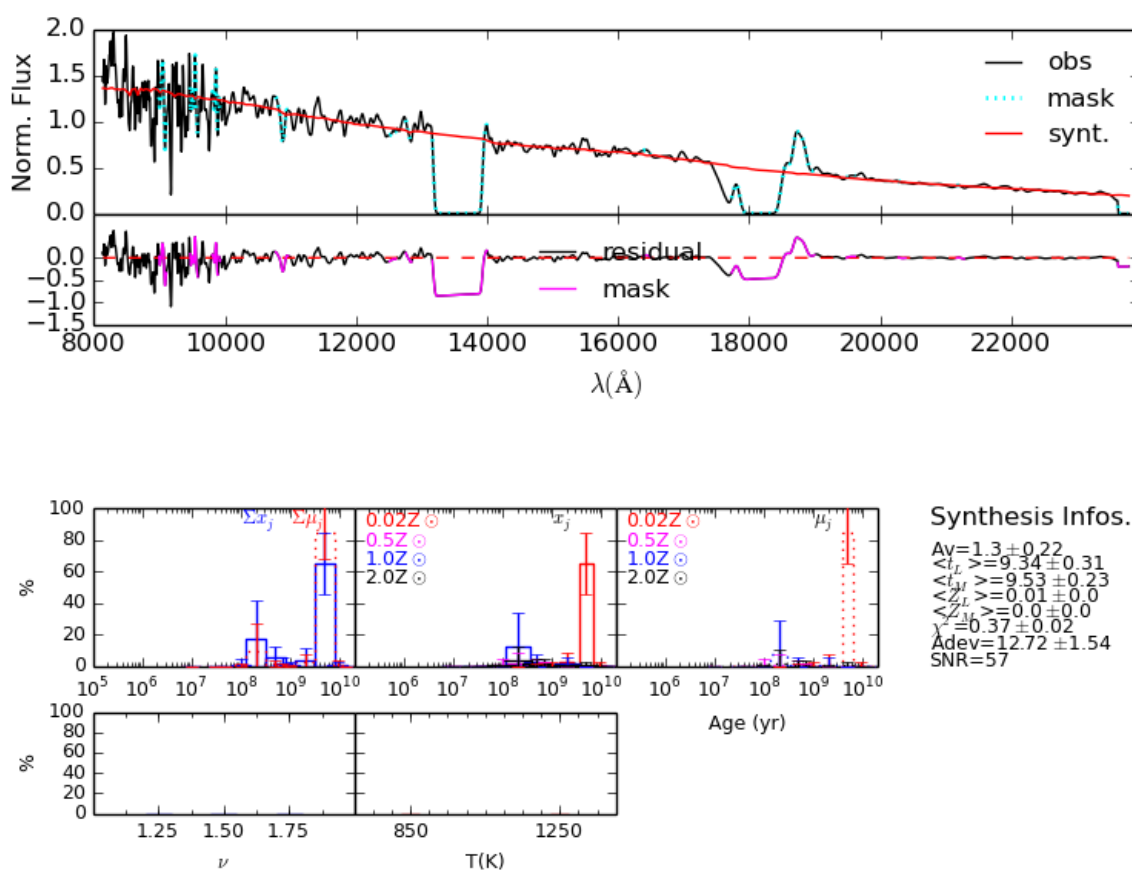


Figura 37: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'c' de MRK 993.

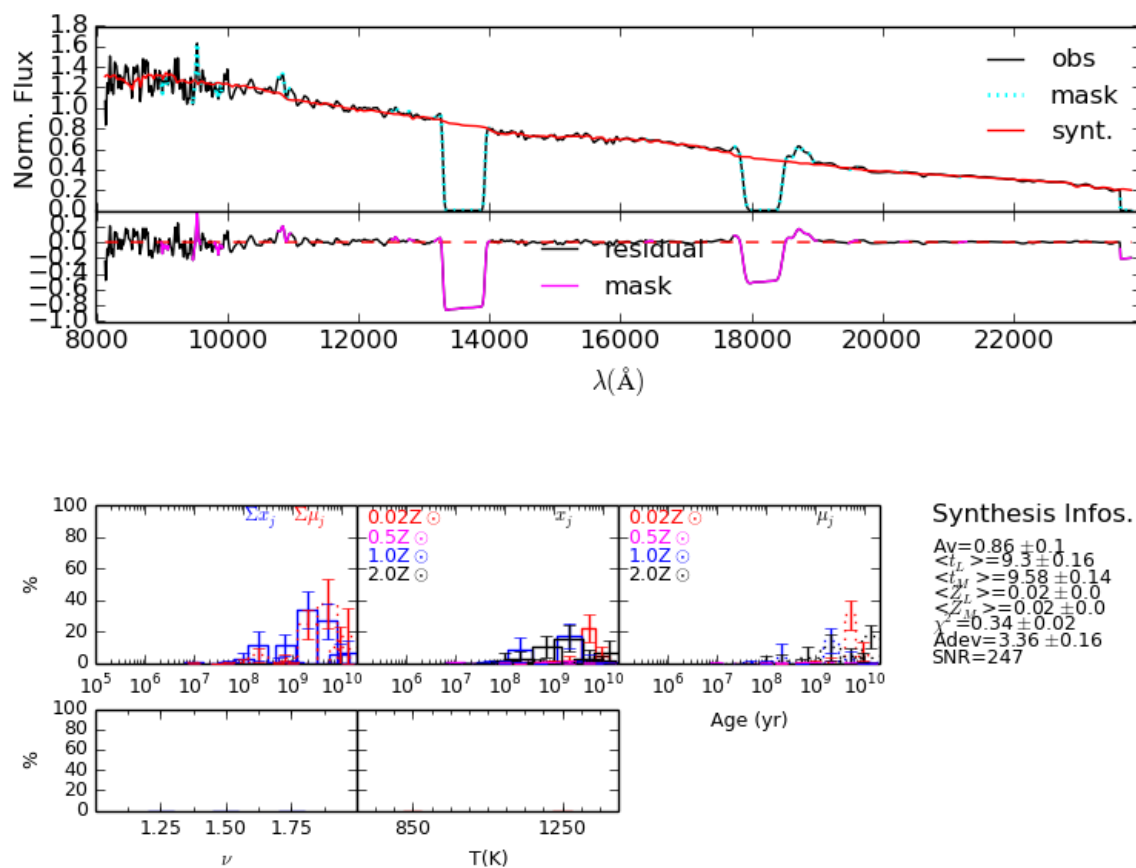


Figura 38: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'd' de MRK 993.



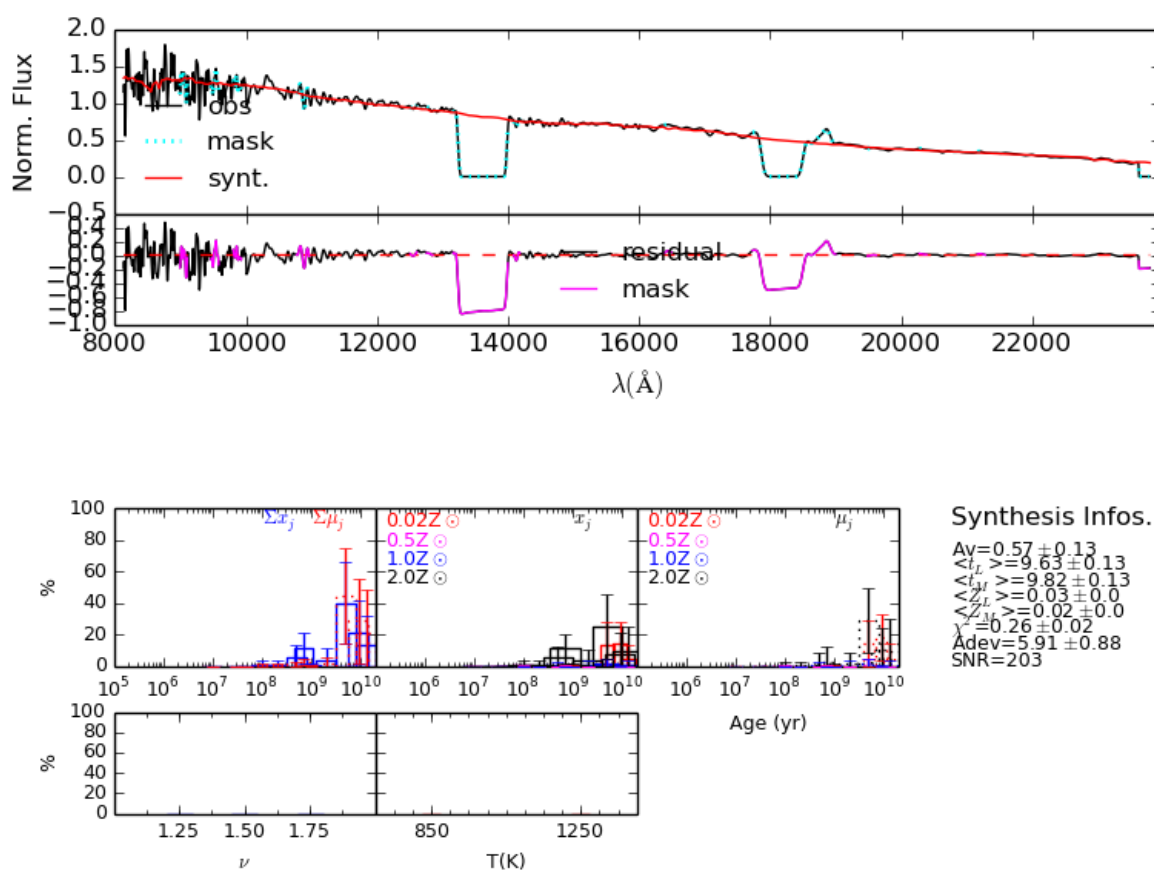


Figura 39: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'e' de MRK 993.

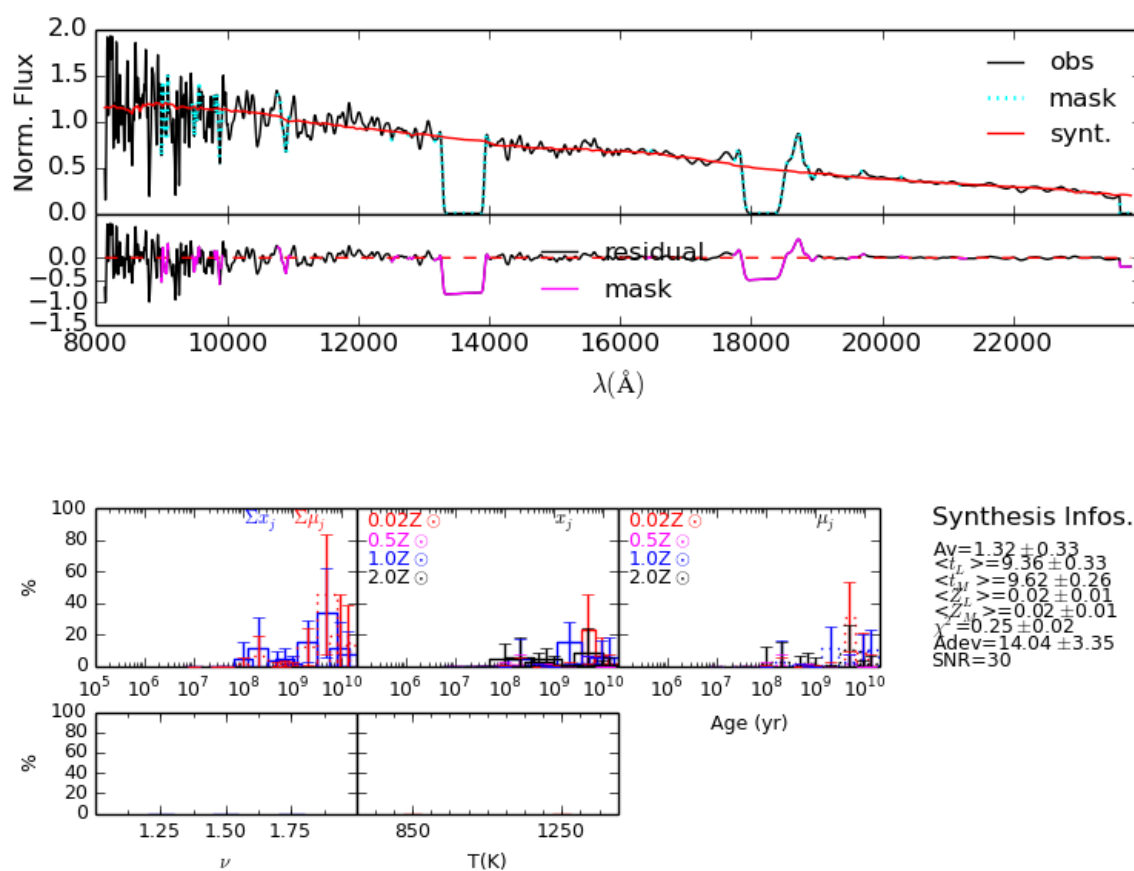


Figura 40: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'f' de MRK 993.

### A.4 NGC 2110

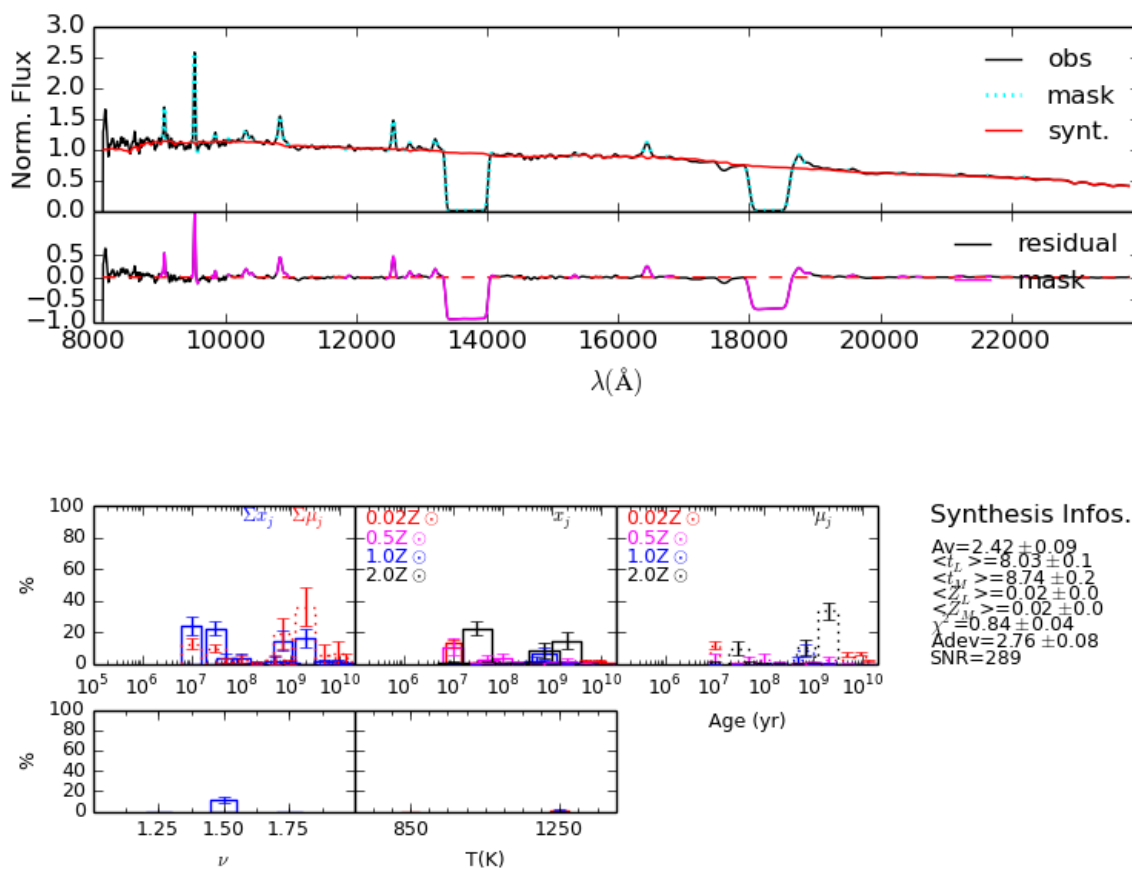


Figura 41: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'a' de NGC 2110.

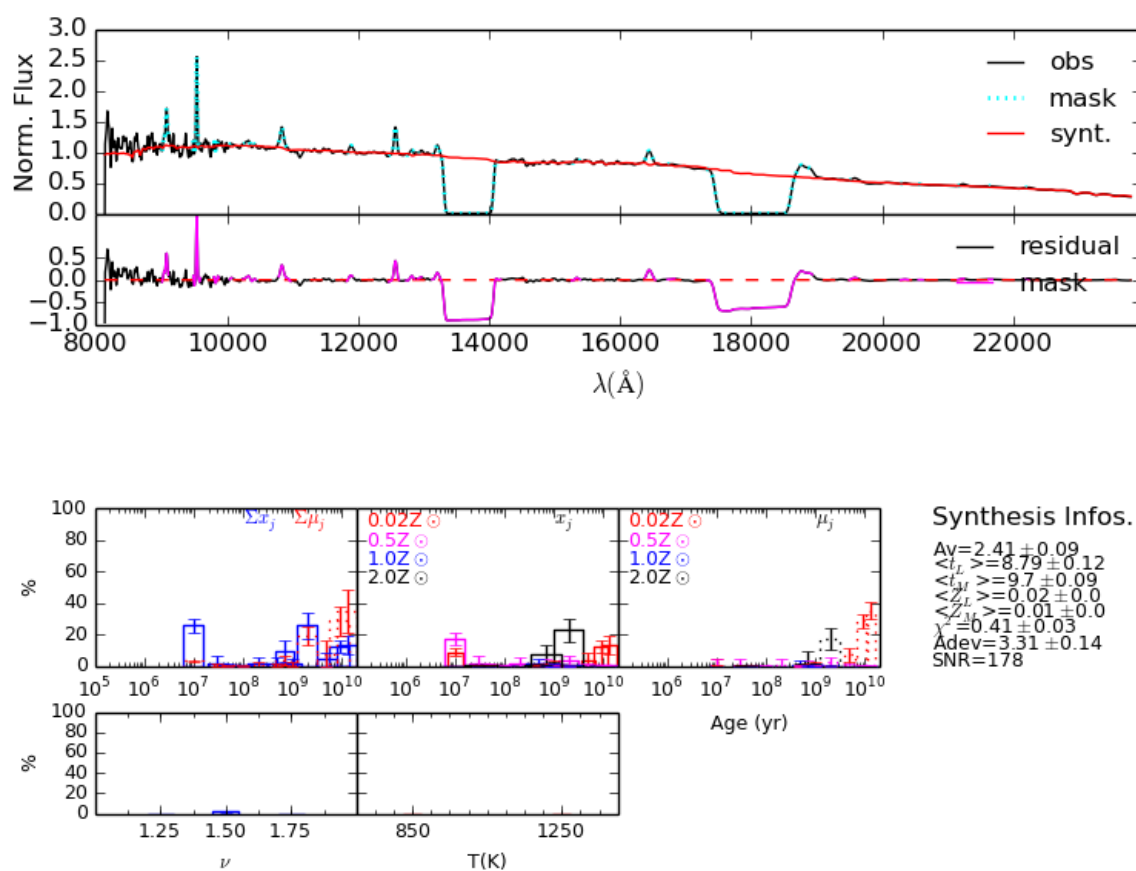


Figura 42: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'b' de NGC 2110.

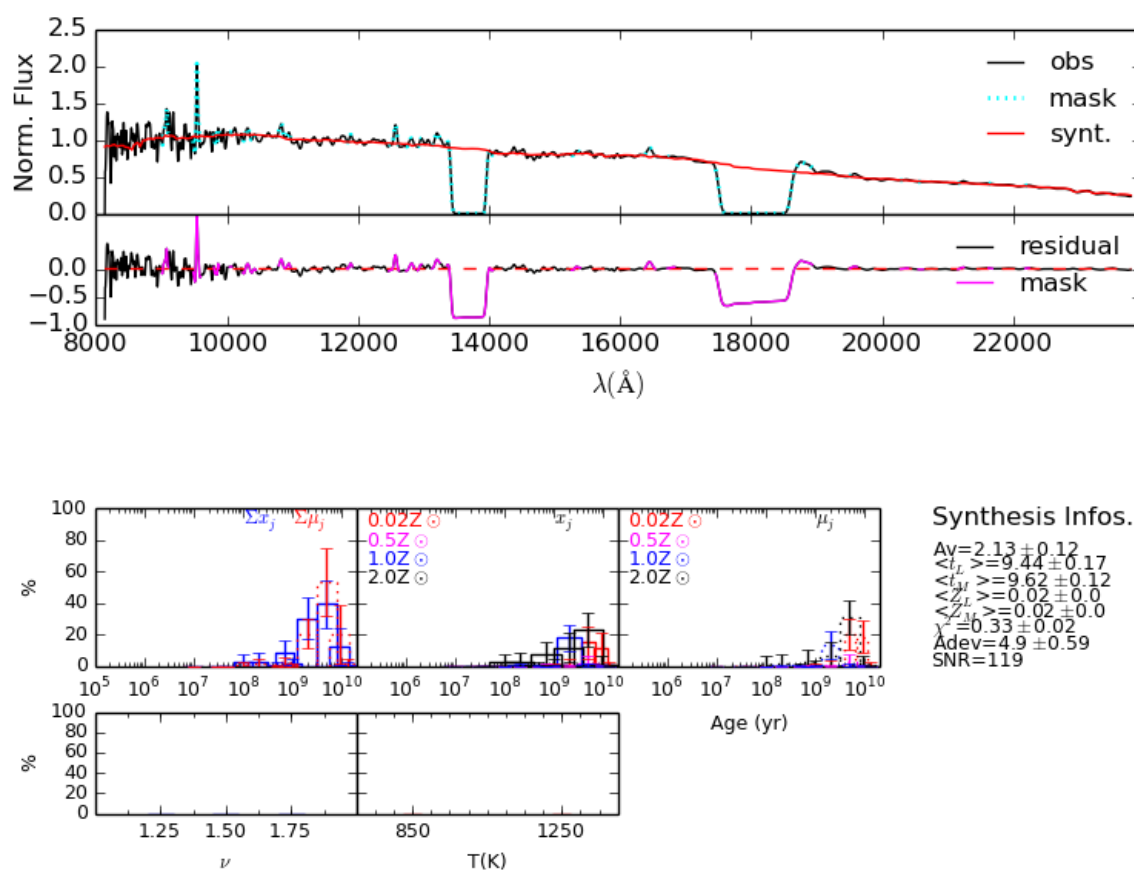


Figura 43: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'c' de NGC 2110.

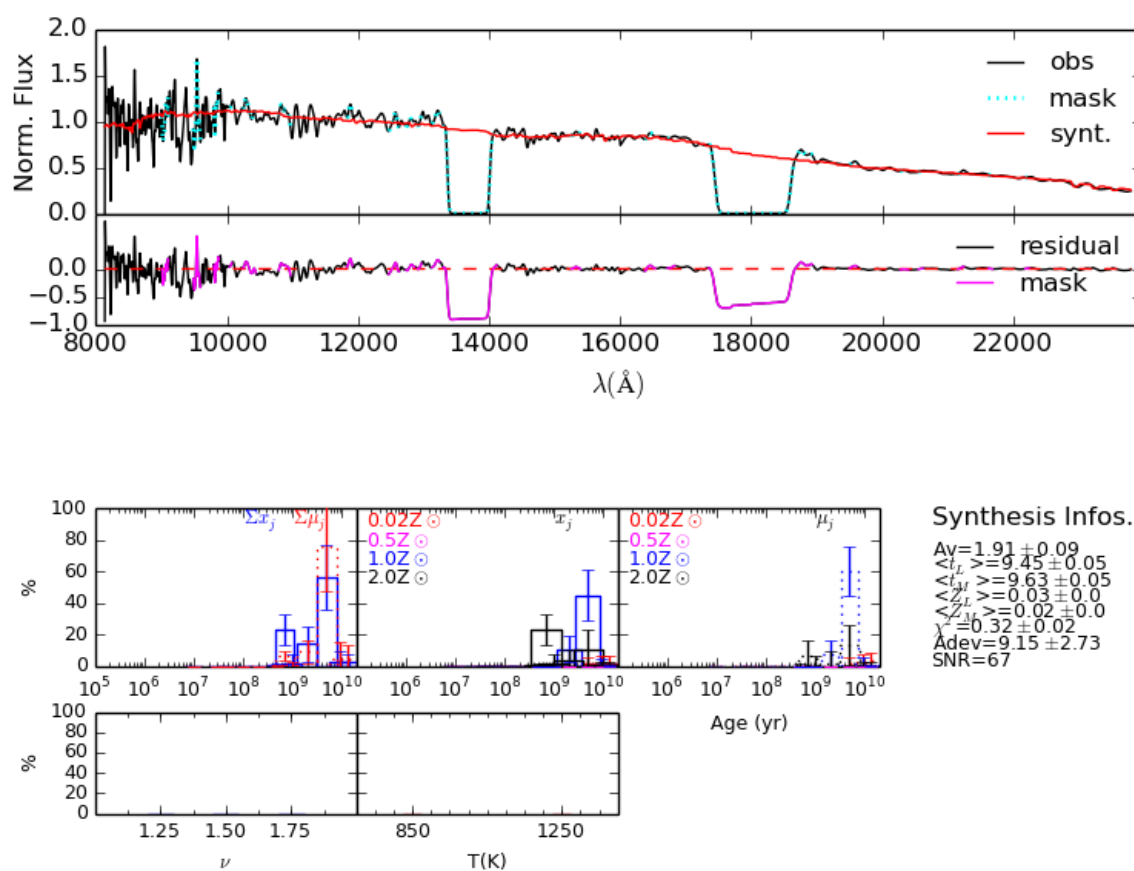


Figura 44: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'd' de NGC 2110.

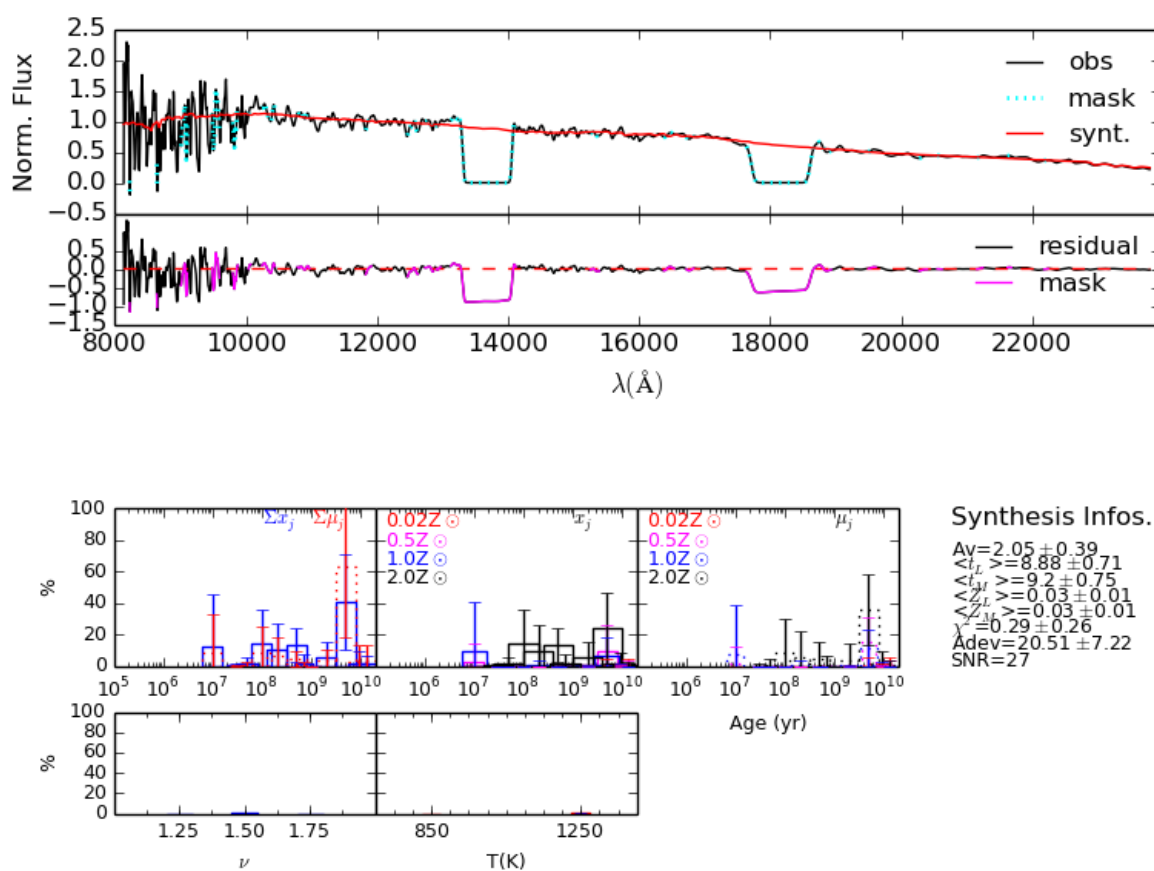


Figura 45: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'e' de NGC 2110.

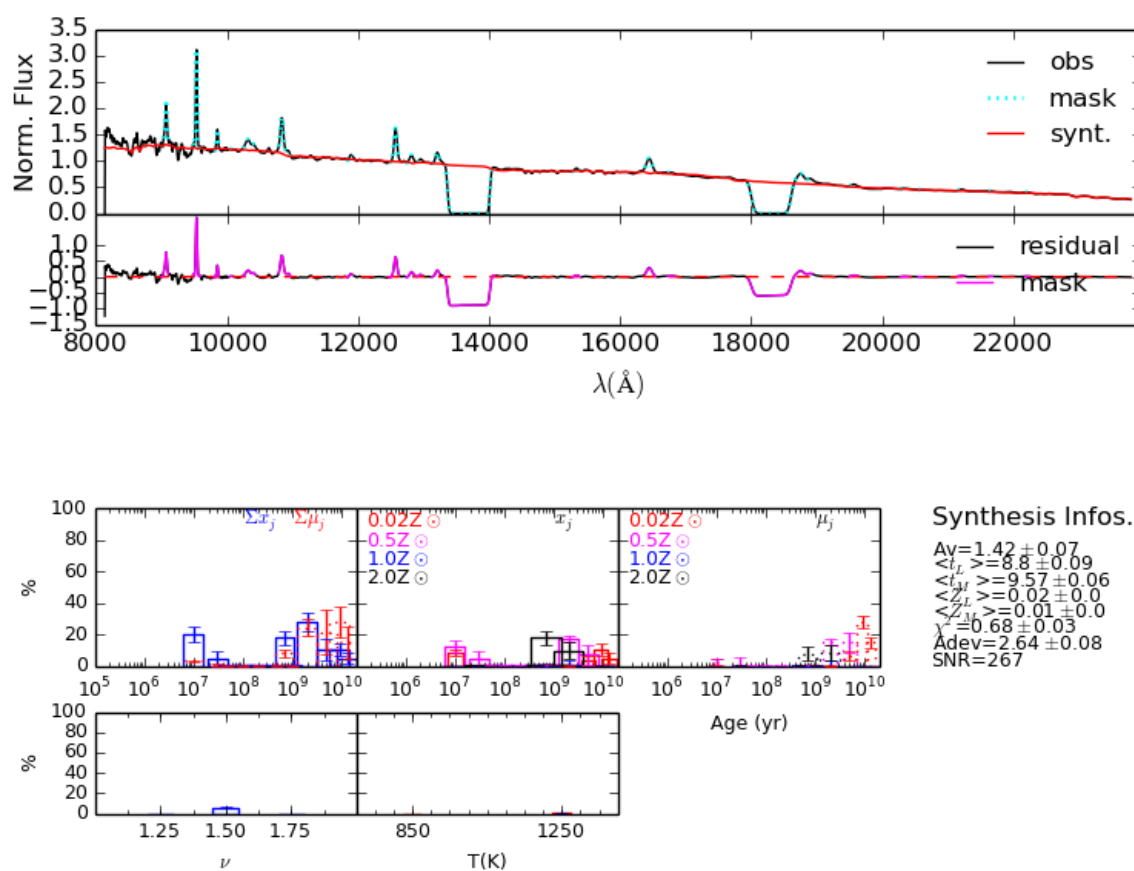


Figura 46: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'f' de NGC 2110.



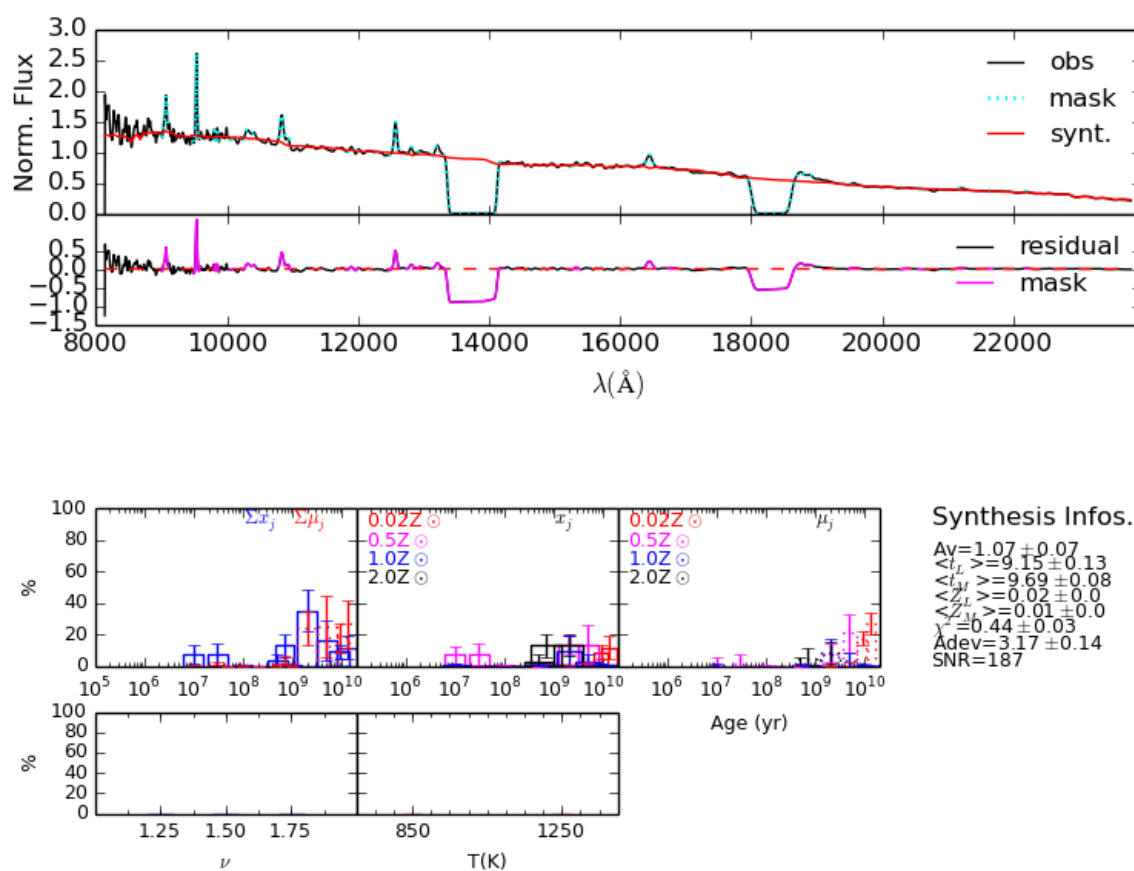


Figura 47: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'g' de NGC 2110.

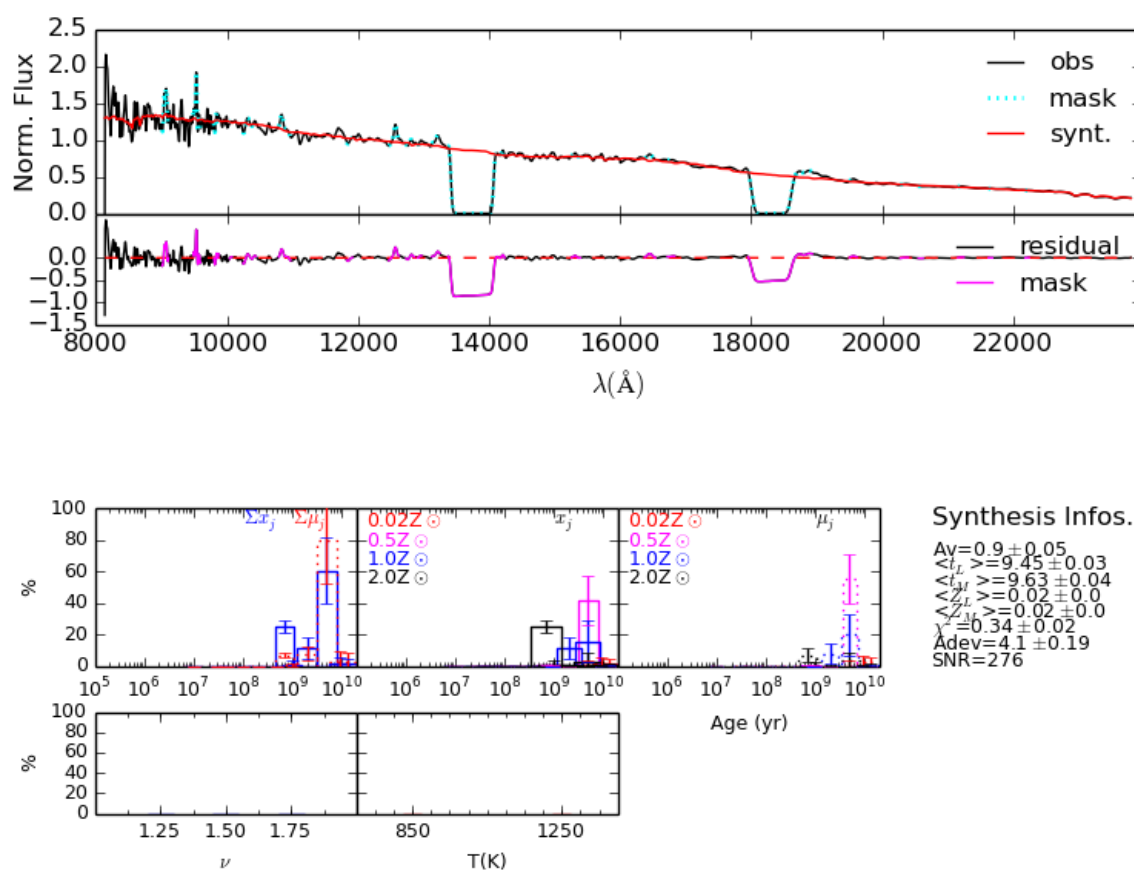


Figura 48: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'h' de NGC 2110.

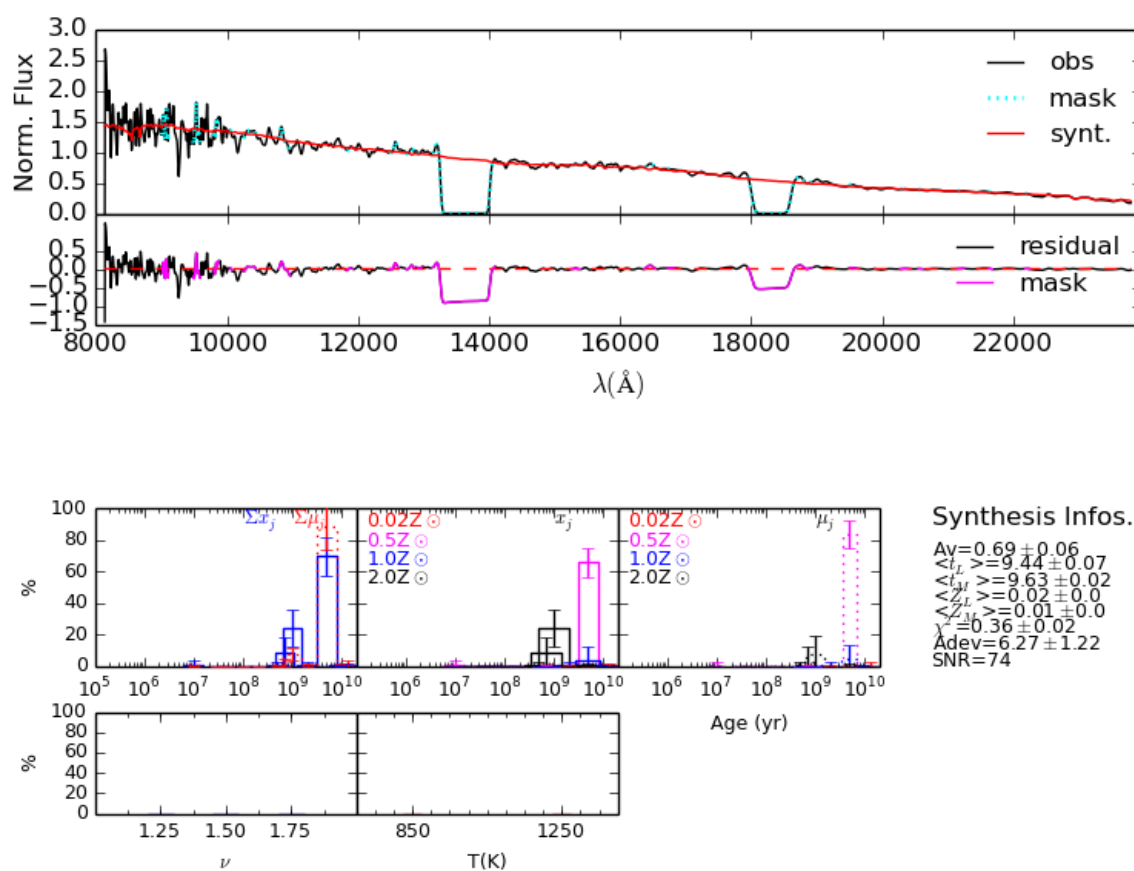


Figura 49: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'i' de NGC 2110.

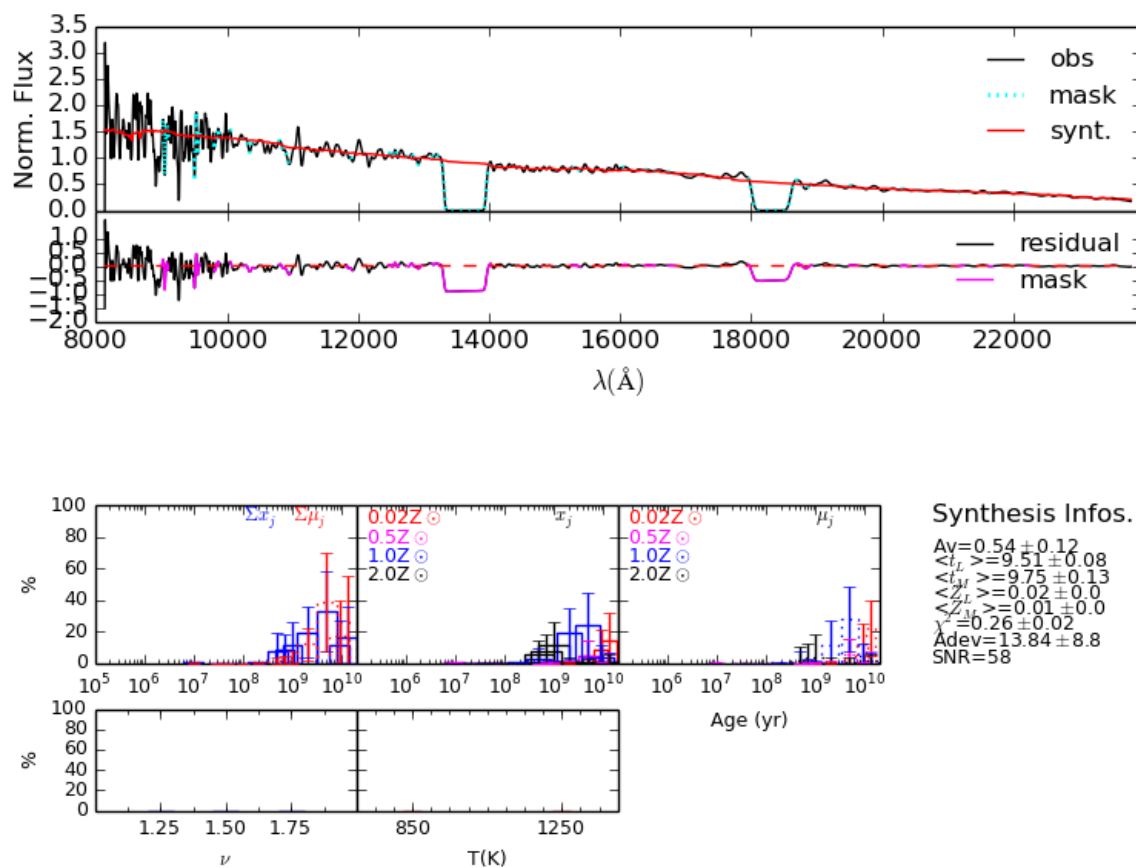


Figura 50: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'j' de NGC 2110.

## A.5 NGC 5728

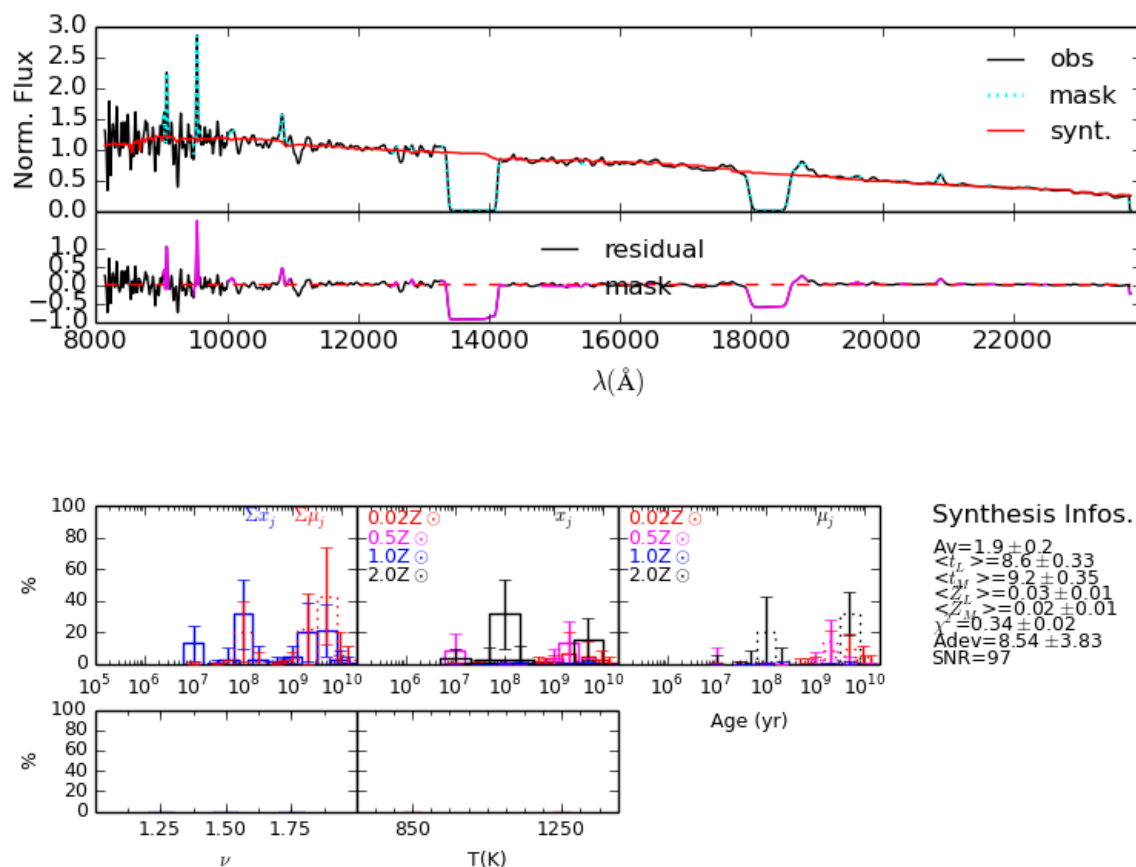


Figura 51: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'a' de NGC 5728.

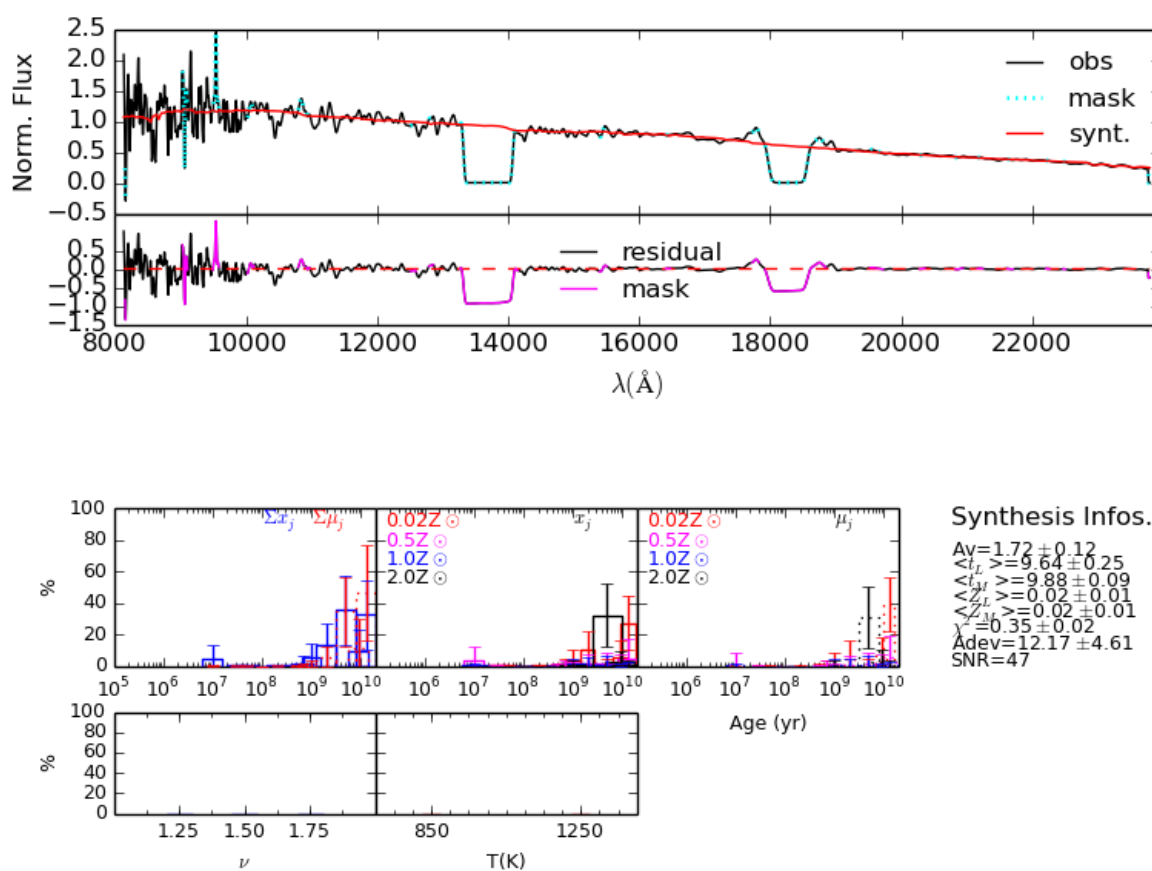


Figura 52: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'b' de NGC 5728.

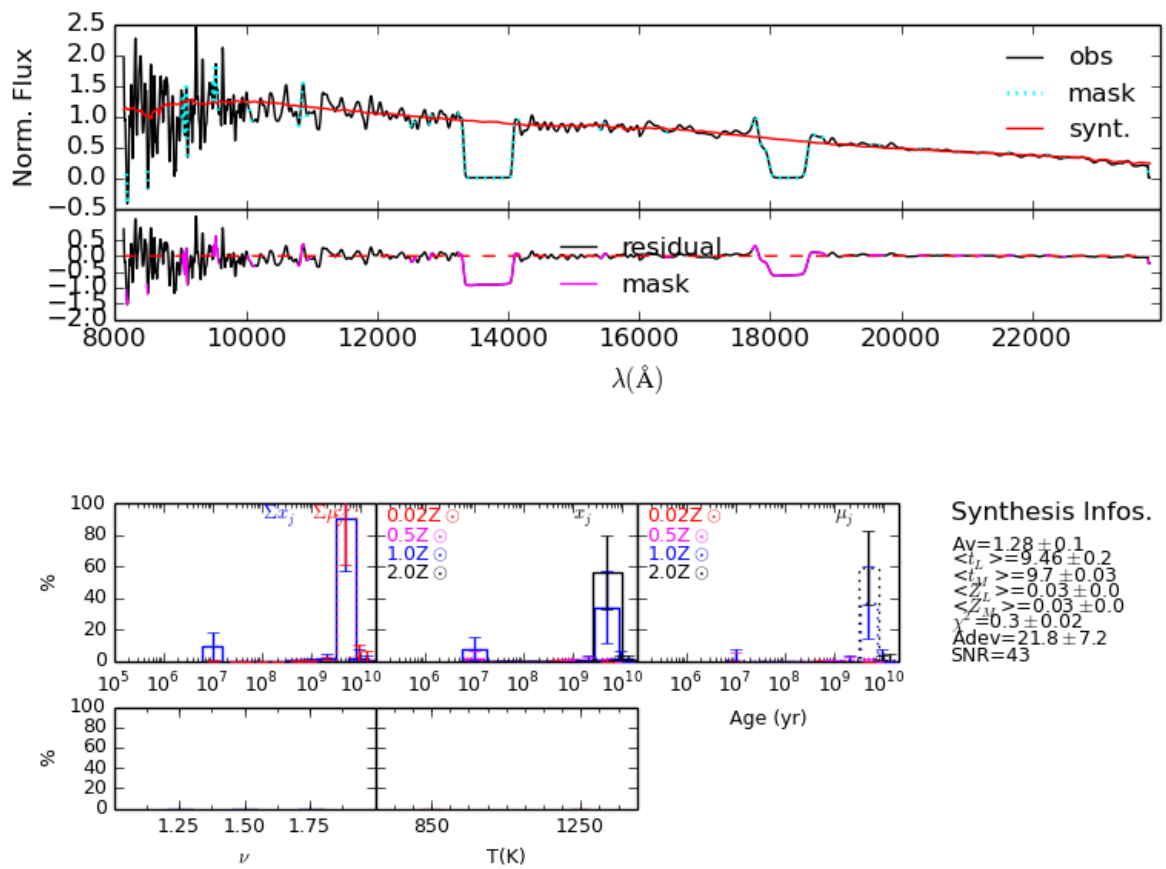


Figura 53: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'c' de NGC 5728.

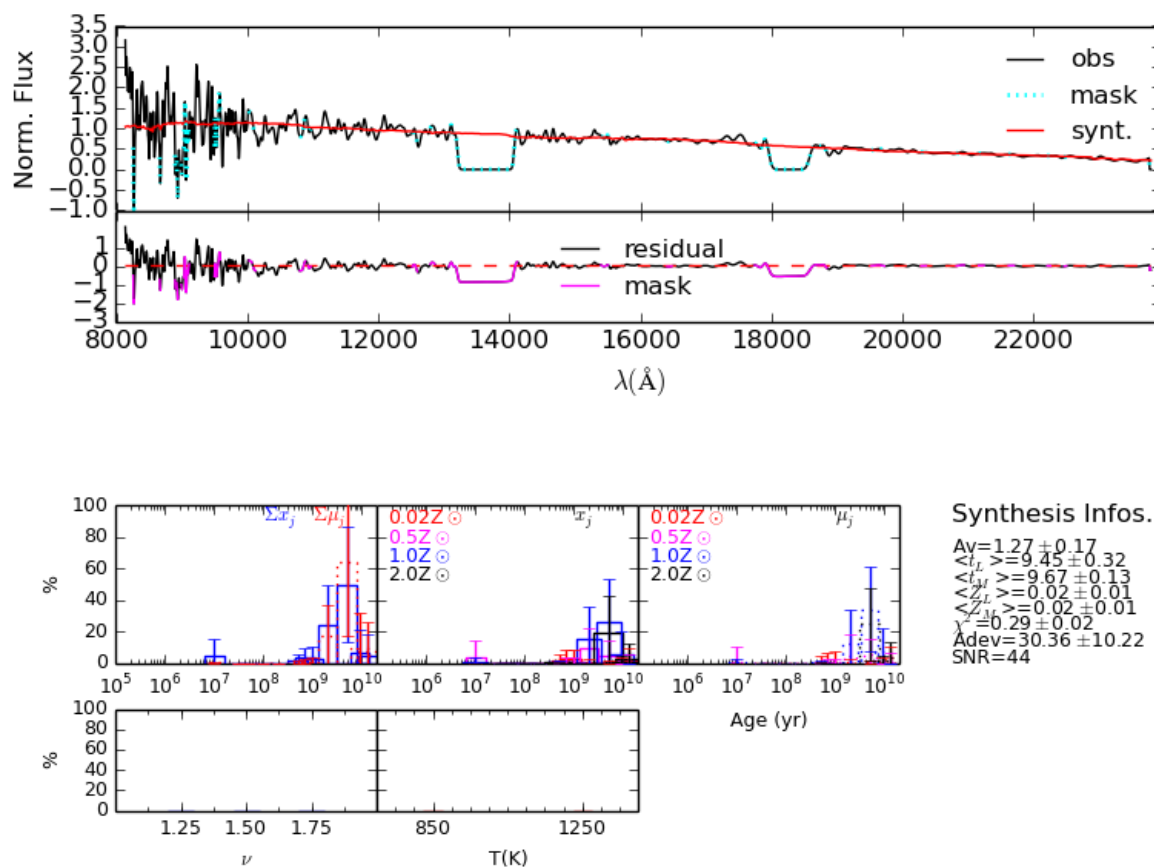


Figura 54: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'd' de NGC 5728.



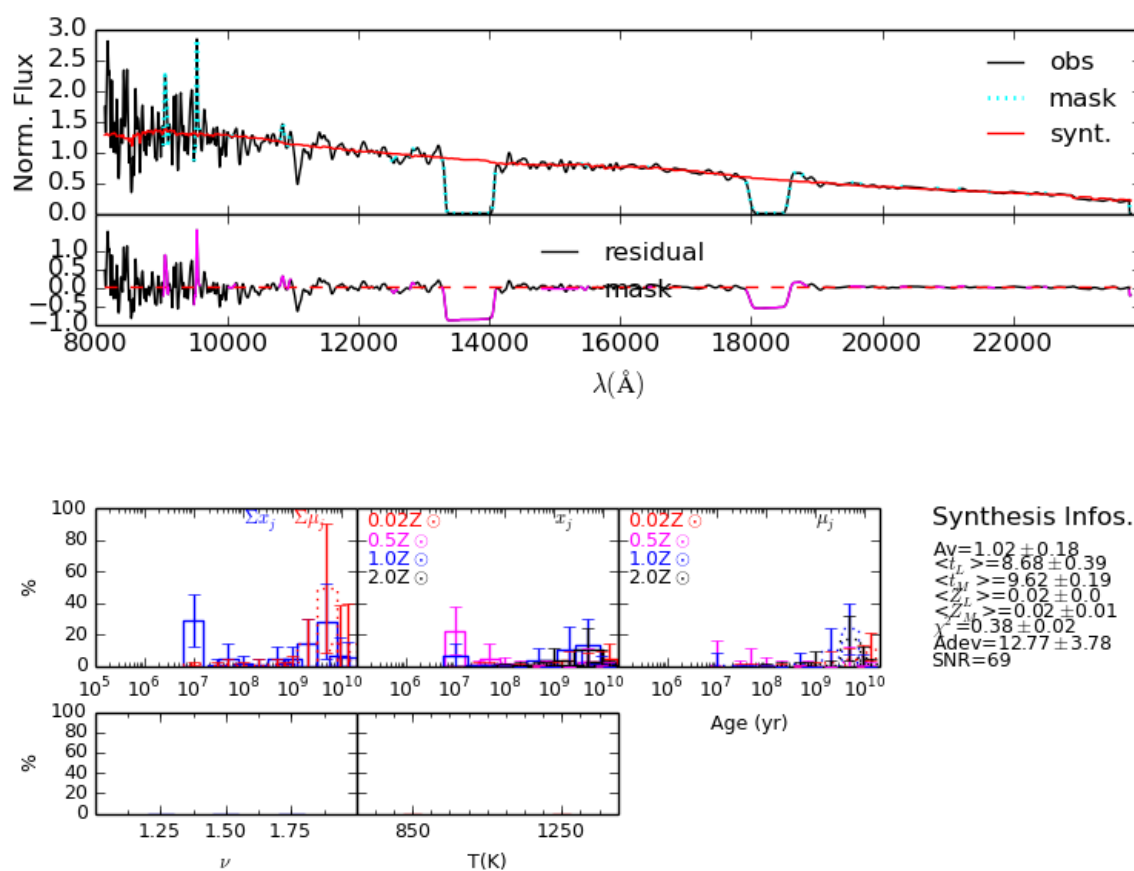


Figura 55: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'e' de NGC 5728.

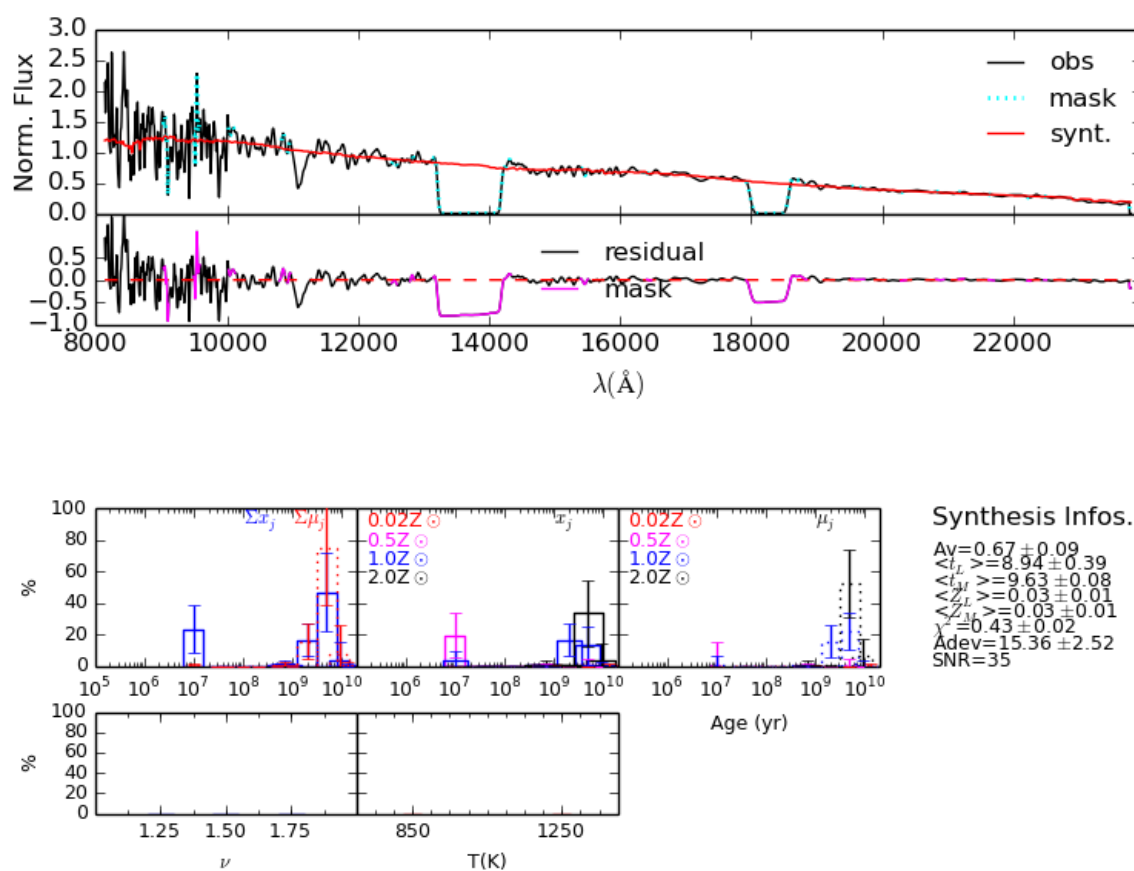


Figura 56: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'f' de NGC 5728.

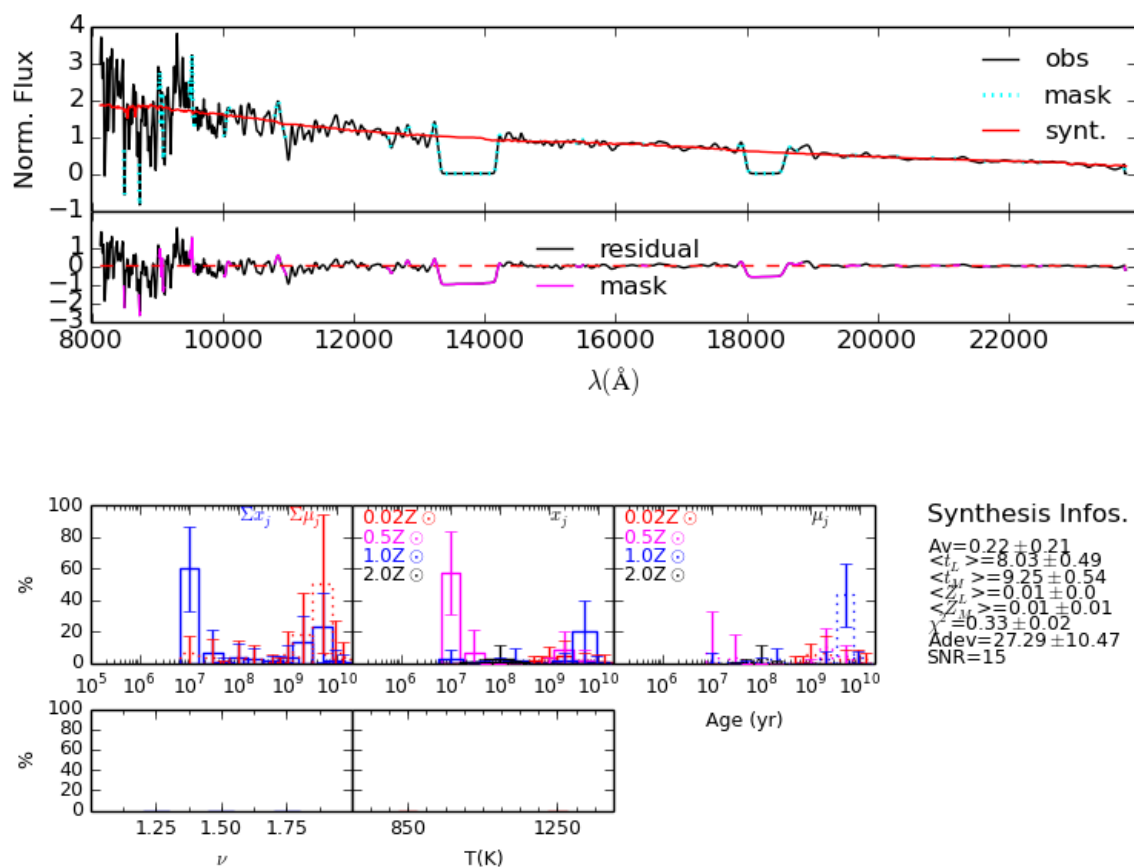


Figura 57: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'g' de NGC 5728.

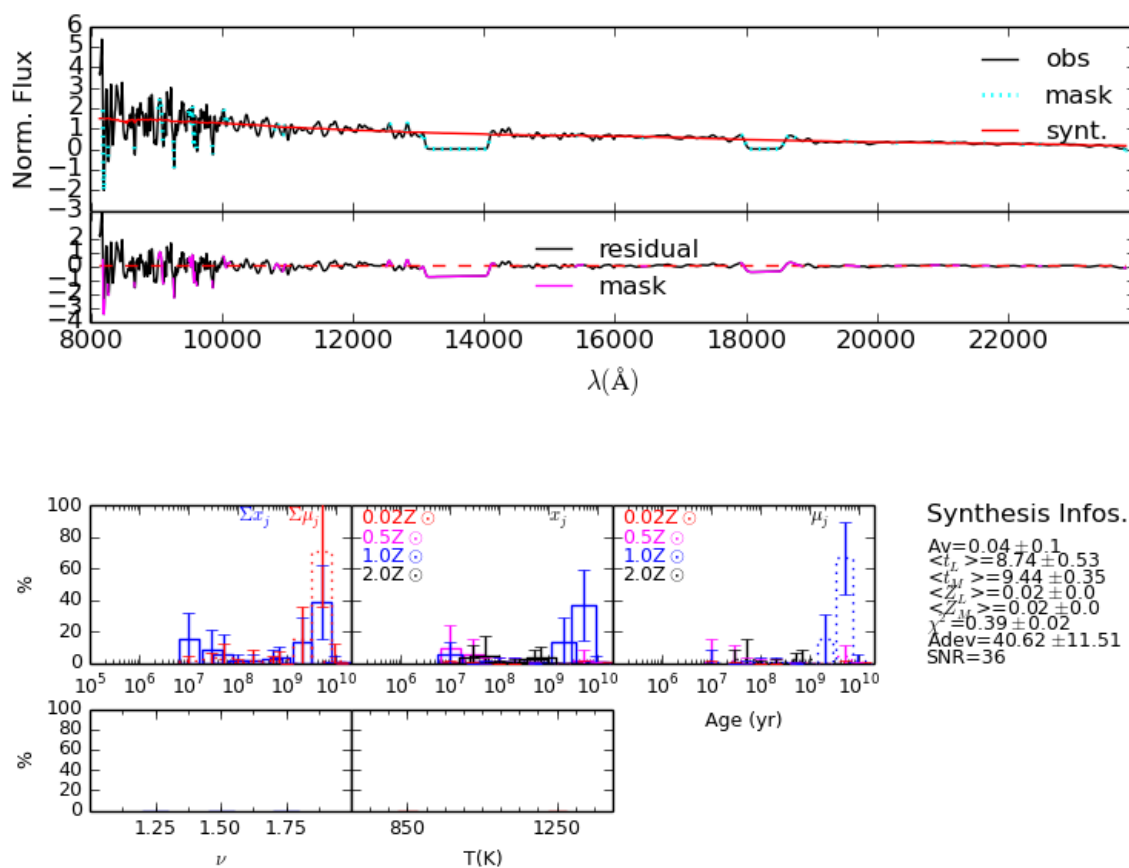


Figura 58: Mesmo que Figura 10, mas para abertura 'h' de NGC 5728.